

**DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN  
PRECIPITACIÓN/EVAPOTRANSPIRACIÓN COMO ÍNDICE DE  
VULNERABILIDAD DE LOS SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO RUT A LOS  
PROCESOS DE SALINIZACIÓN**

Presentado por:

**ANGIE MARCELA GALVEZ VALENCIA**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE  
PROGRAMA INGENIERIA AGRICOLA  
SANTIAGO DE CALI**

**2015**

**DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN  
PRECIPITACIÓN/EVAPOTRANSPIRACIÓN COMO ÍNDICE DE  
VULNERABILIDAD DE LOS SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO RUT A LOS  
PROCESOS DE SALINIZACIÓN**

Presentado por:

**ANGIE MARCELA GALVEZ VALENCIA**

Proyecto de Grado Presentado como requisito Parcial para optar el Título de

**INGENIERA AGRÍCOLA**

Director

**ANDRÉS FERNANDO ECHEVERRI SÁNCHEZ**

*Ingeniero Agrícola, MSc; Candidato PhD.*

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE**

**PROGRAMA INGENIERIA AGRICOLA**

**SANTIAGO DE CALI**

**2015**

## DEDICATORIA

### *A Dios*

*Por todas las bendiciones recibidas.*

### *A mi familia*

*Empezando por mis padres por su apoyo incondicional en cada una de las etapas que he tenido que cursar, es un honor para mí formar parte de la familia que han construido. A mis hermanos por su paciencia, afecto y contribuciones. A todos los integrantes de mi familia que me han apoyado a lo largo de esta etapa.*

### *A Oscar Valencia*

*Por su apoyo, tolerancia y sobre todo su paciencia, gracias por acompañarme, apoyarme y guiarme leal e incondicionalmente.*

### *A mis Amigos*

*A los amigos que iniciaron conmigo esta etapa y a los que conocí durante la misma, a todos muchas gracias por hacerla inolvidable.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad del Valle, a Colciencias y a la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego RUT (ASORUT) por facilitar los espacios y financiación necesaria. A la CVC por proporcionar abiertamente la cartografía utilizada.

Al grupo de investigación REGAR y a cada uno de los integrantes del mismo por su acompañamiento y su colaboración constante, a todos ustedes muchas gracias.

Al profesor Andrés Echeverri por permitirme hacer parte de este proyecto y brindarme tantas enseñanzas que me permitieron prepararme para mi futuro, gracias por su tiempo y dedicación.

Al ingeniero Cristian Fernando Pérez por su colaboración, tiempo y amistad.

Al profesor Norberto Urrutia, director del grupo investigación REGAR por el apoyo constante que brinda a todos los integrantes del grupo, a él mi más sincero respeto.

A los ingenieros Nathalia Gonzalez y Alexander Gaviria por su tiempo y colaboración.

Agradezco a aquellos profesores y compañeros que nos permiten formarnos integralmente como Ingenieros Agrícolas. Por último y no menos importante a todas las personas que dedican sus conocimientos y tiempo a la agricultura en Colombia.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN .....                                            | x  |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                     | 1  |
| 2. OBJETIVOS .....                                       | 4  |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL .....                              | 4  |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....                         | 4  |
| 3. MARCO TEORICO .....                                   | 5  |
| 3.1. PRECIPITACIÓN .....                                 | 5  |
| 3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN .....                            | 6  |
| 3.3. ARIDEZ.....                                         | 10 |
| 3.4. MODELOS PROBABILISTICOS .....                       | 13 |
| 3.5. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA [SIG] .....      | 20 |
| 3.6. MODELOS DE INTERPOLACION .....                      | 26 |
| 4. METODOLOGIA.....                                      | 30 |
| 4.1. LOCALIZACION.....                                   | 30 |
| 4.2. BASE CARTOGRAFICA .....                             | 31 |
| 4.3. RECOPIACIÓN DE DATOS.....                           | 31 |
| 4.4. ANALISIS EXPLORATORIO Y CONFIRMATORIO DE DATOS..... | 32 |
| 4.5. CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION $ET_o$ .....       | 34 |
| 4.6. ANALISIS DE PROBABILIDAD .....                      | 35 |
| 4.7. ANALISIS ESPACIAL .....                             | 35 |
| 5. RESULTADOS Y ANALISIS .....                           | 38 |
| 5.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO Y CONFIRMATORIO DE DATOS ..... | 38 |

|     |                                               |    |
|-----|-----------------------------------------------|----|
| 5.2 | CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN $ET_o$ ..... | 41 |
| 5.3 | ANÁLISIS DE PROBABILIDAD .....                | 41 |
| 5.4 | ANÁLISIS ESPACIAL .....                       | 43 |
| 6.  | CONCLUSIONES.....                             | 60 |
| 7.  | RECOMENDACIONES.....                          | 61 |
| 8.  | BIBLIOGRAFIA.....                             | 62 |
|     | ANEXOS.....                                   | 67 |

## LISTADO DE FIGURAS

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Pluviógrafo y Pluviómetro.....                                                                              | 6  |
| Figura 2. Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a los conceptos relacionados de ET. ....          | 8  |
| Figura 3. Evapotranspiración del cultivo de referencia, bajo condiciones estándar y bajo condiciones no estándar..... | 8  |
| Figura 4. Representación formato vector. ....                                                                         | 23 |
| Figura 5. Representación formato Ráster.....                                                                          | 24 |
| Figura 6. Vecindad de IDW del punto seleccionado [Modelo IDW].....                                                    | 27 |
| Figura 7. Calculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones asociadas [Modelo Kriging].....                     | 28 |
| Figura 8. Localización del distrito RUT.....                                                                          | 30 |
| Figura 9. Fases Metodológicas. ....                                                                                   | 37 |
| Figura 10. Media Mensual de Precipitación y Evapotranspiración.....                                                   | 44 |
| Figura 11. Mapa de Precipitación (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 50%] .                                          | 46 |
| Figura 12. Mapa de Precipitación (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 75%] .                                          | 47 |
| Figura 13. Mapa de Precipitación (mm/año).....                                                                        | 48 |
| Figura 14. Mapa de Evapotranspiración (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 50%].....                                  | 49 |
| Figura 15. Mapa de Evapotranspiración (mm/año) [Probabilidad de Excedencia 50%].....                                  | 50 |
| Figura 16. Mapa de Excedencia y Deficiencia Hídrica (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 50%]. ....                   | 51 |
| Figura 17. Mapa de Excedencia y Deficiencia Hídrica (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 75%]. ....                   | 52 |
| Figura 18. Mapa de Excedencia y Deficiencia Hídrica (mm/año). ....                                                    | 53 |
| Figura 19. Mapa de Índice de Aridez [Probabilidad de Excedencia 50%]. ....                                            | 54 |
| Figura 20. Mapa de Índice de Aridez [Probabilidad de Excedencia 75%]. ....                                            | 56 |
| Figura 21. Mapa de Índice de Aridez Anual.....                                                                        | 57 |

## LISTADO DE TABLAS

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Clasificación del índice de Aridez. ....                                      | 12 |
| Tabla 2. Tipos de Kriging y sus Propiedades. ....                                      | 29 |
| Tabla 3. Resultados Evapotranspiración promedio método García López (mm/mes).<br>..... | 41 |
| Tabla 4. Modelos Probabilísticos con mejor ajuste para Precipitación. ....             | 42 |
| Tabla 5. Modelos Probabilísticos con mejor ajuste para Evapotranspiración. ....        | 42 |
| Tabla 6. Modelos Probabilísticos.....                                                  | 43 |
| Tabla 7. Modelos Semivariograma.....                                                   | 43 |
| Tabla 8. Determinación de parámetros de variabilidad.....                              | 44 |
| Tabla 9. Clasificación de la Vulnerabilidad a la Salinización.....                     | 58 |



## LISTADO DE ECUACIONES

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo [mm/mes].....                         | 9  |
| Ecuación 2. Deficiencia Hídrica.....                                             | 12 |
| Ecuación 3. Excedencia Hídrica.....                                              | 13 |
| Ecuación 4. Función de densidad [Normal]. ....                                   | 14 |
| Ecuación 5. Función de distribución [Normal]. ....                               | 14 |
| Ecuación 6. Función de densidad [Weibull].....                                   | 15 |
| Ecuación 7. Función de Distribución [Weibull].....                               | 15 |
| Ecuación 8. Media Distribución de Weibull.....                                   | 15 |
| Ecuación 9. Varianza Distribución de Weibull. ....                               | 16 |
| Ecuación 10. Función de densidad Distribución de Gumbel.....                     | 16 |
| Ecuación 11. Variable aleatoria distribución de Gumbel.....                      | 17 |
| Ecuación 12. Determinación parámetro "U" distribución de Gumbel .....            | 17 |
| Ecuación 13. Determinación parámetro "D" distribución de Gumbel .....            | 17 |
| Ecuación 14. Función de densidad Distribución de Pearson III .....               | 18 |
| Ecuación 15. Estimación de parámetro $\beta$ distribución de Pearson III.....    | 18 |
| Ecuación 16. Estimación del parámetro $\alpha$ distribución de Pearson III ..... | 18 |
| Ecuación 17. Estimación del parámetro $x_0$ distribución de Pearson III .....    | 18 |
| Ecuación 18. Función de densidad distribución de Gamma .....                     | 19 |
| Ecuación 19. Estimación del parámetro " $\Gamma$ " distribución de Gamma. ....   | 19 |
| Ecuación 20. Función de distribución de Log Normal III.....                      | 19 |
| Ecuación 21. Formula general [Interpolación Kriging]. ....                       | 27 |
| Ecuación 22. Error Cuadrático Medio.....                                         | 35 |

## **RESUMEN**

Este trabajo se realizó con el objetivo de identificar el nivel de vulnerabilidad del Distrito de Riego RUT a los procesos de salinización por el factor climático. Para ello, se realizó una delimitación del área de estudio donde se recopilaron datos de las estaciones meteorológicas que monitorean la región para luego determinar la evapotranspiración y caracterizar el comportamiento de la precipitación. En la segunda fase se realizó un análisis de probabilidad para las dos variables principales (P, ETo), y se generó zonificación de las variables anual y mensualmente a través del software ArcGis 10.3. Finalmente, a través de álgebra de mapas, se calculó el Índice de Aridez (IA) y se espacializó en la zona de interés, permitiendo determinar la vulnerabilidad a través de este parámetro agroclimático. Los resultados obtenidos muestran marcada variabilidad temporal y poca variabilidad espacial en la precipitación. En contraste, se identificó poca variabilidad temporal y espacial para la Evapotranspiración. El IA varía en el tiempo, pero no en el espacio. Su variación respondió para un cambio de escenario de precipitación. La vulnerabilidad por el factor climático fue “Baja” para un escenario de precipitación promedia y “Media” para el escenario de precipitación crítica. Se concluyó que el IA no es uno de los factores de mayor importancia en el análisis integral de la vulnerabilidad del Distrito de Riego RUT a los procesos de salinización.

**Palabras Clave:** Vulnerabilidad a salinización de suelos, Índice de Aridez

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente siglo, uno de los mayores desafíos que debe afrontar la humanidad es el cambio climático. En Colombia, estos fenómenos de variabilidad climática que gobiernan el clima, están controlados principalmente por la zona de confluencia intertropical, por la dinámica de los océanos pacífico y atlántico y por la dinámica de las cuencas del Amazonas y el Orinoco. Adicional a esto la mayor parte de la población se encuentra en las partes altas de las cordilleras, lugares donde se prevén problemas de escasez hídrica e inestabilidad de suelos, y en las costas, donde el aumento del nivel del mar y las inundaciones pueden afectar los asentamientos humanos y las actividades económicas clave, todo esto convierte a Colombia en un país especialmente vulnerable al cambio climático, ya que además de esto cuenta con una creciente incidencia de emergencias asociadas al clima (PUND, 2010).

En Colombia se ha venido incrementando la oferta de información hidrometeorológica y ambiental, permitiendo profundizar en el conocimiento de los recursos hídricos y los impactos que sobre ellos podría ejercer el cambio climático, estos estudios han mejorado progresivamente en lo que respecta a su alcance y nivel de detalle. De la misma manera, la necesidad de producir información más regionalizada se ha hecho más evidente a lo largo de los últimos años (García *et al.*, 2012).

Según FAO (1997) El cambio climático a largo plazo, en particular el calentamiento del planeta, podría afectar a la agricultura en diversas formas, y casi todas son un riesgo para la seguridad alimentaria de las personas más vulnerables del mundo.

La variabilidad natural de las lluvias, de la temperatura y de otras condiciones del clima es el principal factor que explica la variabilidad de la producción agrícola, lo que a su vez constituye uno de los factores principales de la falta de seguridad alimentaria. Por lo tanto, la agricultura es esencial para la mitigación y adaptación al cambio climático; los pequeños agricultores en países en vías desarrollo son

actores clave en estos procesos, en virtud de las prácticas agrícolas y su concesión sobre la importancia de generar una agricultura que garantice la sostenibilidad del agroecosistema, puesto que las interacciones entre el tipo de cobertura vegetal y las características del paisaje producen patrones ecológicos e hidrológicos complejos de respuesta a la precipitación. La comprensión de estas complejas relaciones es importante para entender cómo se estructuran los ecosistemas, y en la predicción de los efectos del uso del suelo y el cambio climático en la ecohidrología (Huxman *et al.*, 2005).

El cambio climático, sumado al deficiente manejo del agua (riego y drenaje) y los fertilizantes en las zonas bajo riego, aumentan la vulnerabilidad de estos suelos a sufrir procesos de salinización. Muchas familias rurales tienen su actividad económica principal en estas zonas de agricultura intensiva, de ahí la importancia de valorar la vulnerabilidad de los suelos a la salinización, para orientar las acciones de manejo y adaptación y evitar los impactos productivos, económicos y sociales.

En el marco del proyecto doctoral “*Desarrollar un modelo de gestión de salinización de suelos asociado a la calidad del agua de riego en el Distrito de Riego RUT*” a cargo del grupo de Investigación REGAR de la Universidad del Valle, se desarrollan estudios de los factores de vulnerabilidad asociados a este fenómeno.

En el presente estudio examinamos las interacciones mensuales entre la Evapotranspiración Potencial  $ETo$  y la precipitación  $P$  para proporcionar una visión general de los factores que controlan el balance de agua y que nos proporcionan estrategias para mejorar el uso del suelo, que es indispensable para su conservación y para aumentar la producción. Por ende, este estudio es de gran importancia ya que es necesario conocer el comportamiento temporal y espacial de la relación de estas variables agroclimáticas para con esto aportar al análisis integral de la vulnerabilidad de los suelos del distrito de riego RUT a los procesos de salinización.

Se desarrolló una fase preliminar en la que se delimitó el área de estudio y se recopiló datos de las estaciones meteorológicas que monitorean la región. Posteriormente se determinó la evapotranspiración de potencial (ET<sub>p</sub>) y se llevó a cabo un análisis de probabilidad para precipitación (P) y evapotranspiración. En una tercera etapa se generaron mapas de cada parámetro a través de herramientas de Geoestadística espacial en el ambiente del software ArcGis 10.3. Finalmente se zonificó la relación P/ET<sub>p</sub> para cada mes y de manera anual. Adicionalmente se calcularon Deficiencias y Excedencias hídricas (nivel mensual y anual).

De acuerdo a lo anterior, el objetivo de este estudio fue zonificar la relación precipitación/evapotranspiración (P/ET<sub>p</sub>) en el Distrito de Riego RUT para aportar en el estudio de la vulnerabilidad de los suelos a los procesos de salinización.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación  $P/ET_o$  como índice de vulnerabilidad de los suelos del Distrito de Riego RUT a los procesos de salinización.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar los modelos de probabilidad de mejor ajuste para el análisis de Precipitación y Evapotranspiración Potencial de la zona de estudio.
- Definir la técnica de interpolación más adecuada para la espacialización de la información de Precipitación y Evapotranspiración potencial.
- Zonificar el comportamiento espacial y temporal de la relación Precipitación/Evapotranspiración potencial en el Distrito de Riego RUT como indicador de vulnerabilidad a los procesos de salinización de suelos.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1. PRECIPITACIÓN**

La precipitación es el producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, esto ocurre cuando la atmosfera se satura con el vapor de agua y el agua se condensa venciendo la fuerza ascendente de las corrientes atmosféricas para luego caer de la solución. En general, el término se refiere a todas las formas de humedad emanada de la atmosfera y depositada en la superficie terrestre, tales como lluvia, rocío, neblina, nieve o helada (Monsalve, 1995).

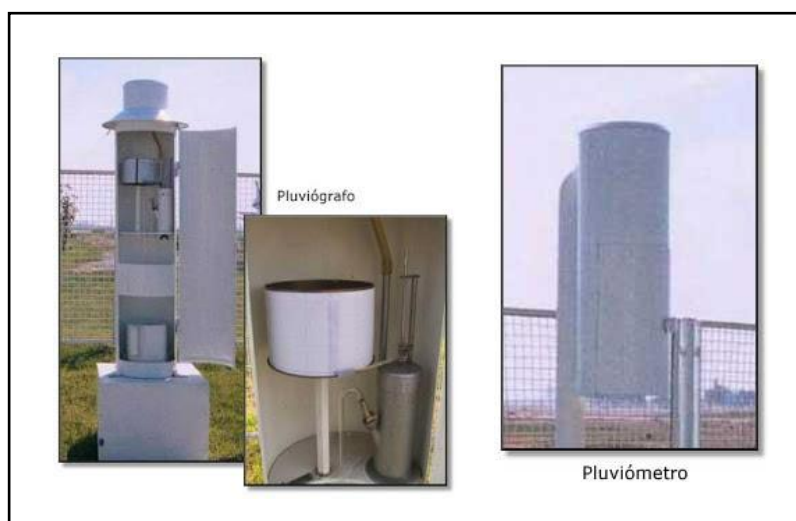
Las causas que influyen en la distribución de precipitaciones en el planeta son la proximidad al mar, que aumenta la humedad del aire, y las corrientes ascendentes de aire, como las que obligan a realizar las cordilleras, sobre las cuales las precipitaciones son más numerosas e intensas en la ladera enfrentada a los vientos más frecuentes.

La intensidad de las precipitaciones es variable sin importar su distancia. A lo largo de un año también hay variaciones. Existen zonas en las que en un sólo día cae más lluvia que en otros a lo largo de todo el año. La cantidad, frecuencia y distribución espacial y temporal de las precipitaciones es muy variable, razón por la cual ha sido objeto de intenso estudio por parte del hombre, en la determinación de los climas y el aprovechamiento de los recursos hídricos que ofrece la naturaleza.

La precipitación tiene una gran importancia en la agricultura ya que si tenemos un seguimiento de esta podemos obtener datos de posibles avalanchas, determinar si es necesaria su captación y con esto regular el riego de un cultivo en cada fase de su vida, desde la siembra hasta la madurez.

Llevando un control de las precipitaciones caídas, podremos conocer su incidencia sobre la planta en cada momento, ya que, para que un cultivo se desarrolle óptimamente se requiere que permanentemente conozcamos sus carencias y sus necesidades.

La medida de las precipitaciones permite determinar la distribución de las mismas en el tiempo y en el espacio. El objetivo fundamental de todo método de medida de las lluvias es obtener una muestra que sea verdaderamente representativa de la precipitación caída en la región a que se refiere la medición. Para realizar dicha medición se utilizan dos instrumentos el pluviómetro y el pluviógrafo (Véase Figura 1), instrumentos utilizados para medir y registrar, respectivamente, las cantidades de precipitación (Sabogal, 1985). Estas cantidades se miden en milímetros para que puedan ser científicamente comparables.



**Figura 1. Pluviógrafo y Pluviómetro**

*Fuente: URL 1.*

### **3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN**

El ciclo hidrológico genera un intercambio de agua entre los océanos, los continentes y la atmosfera. Una parte fundamental de este intercambio se da gracias a la evaporación, mecanismo por el cual el agua es devuelta a la atmosfera en forma de vapor, este mecanismo también involucra una evaporación de carácter biológico que es realizada por los vegetales también conocida como transpiración. En



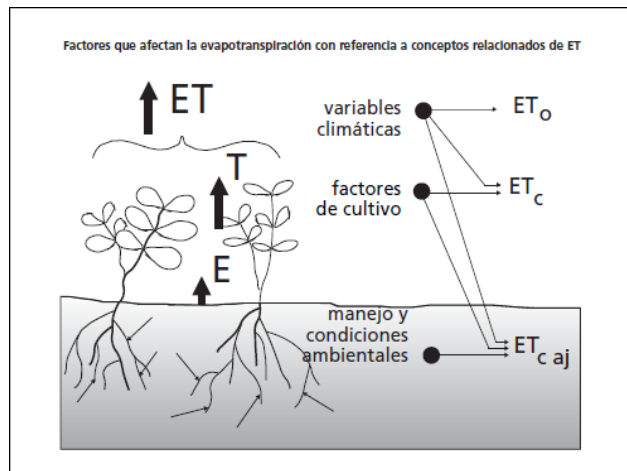
condiciones naturales la evaporación y la transpiración son fenómenos interdependientes; de este hecho deriva la utilización del concepto más amplio de Evapotranspiración que los engloba. Este término contiene la cantidad de agua que utiliza la planta para formar sus tejidos, representando este último valor un porcentaje muy bajo comparado con los anteriores.

La evapotranspiración constituye la transferencia total de agua desde una superficie vegetada a la atmósfera. El término sólo es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. Ante la ausencia de vegetación, sólo se puede hablar de evaporación.

La evapotranspiración es un componente fundamental del balance hidrológico y un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera. Su cuantificación se hace necesaria en contextos tan diferentes como la producción vegetal, la planificación y la gestión de recursos hídricos o estudios ambientales y ecológicos. Este fenómeno depende directamente de la densidad de siembra, de las características de la vegetación de la disponibilidad de agua en el suelo y de las condiciones meteorológicas (temperatura, radiación solar, vientos, humedad relativa, precipitación, etc) (Jiménez, 1992).

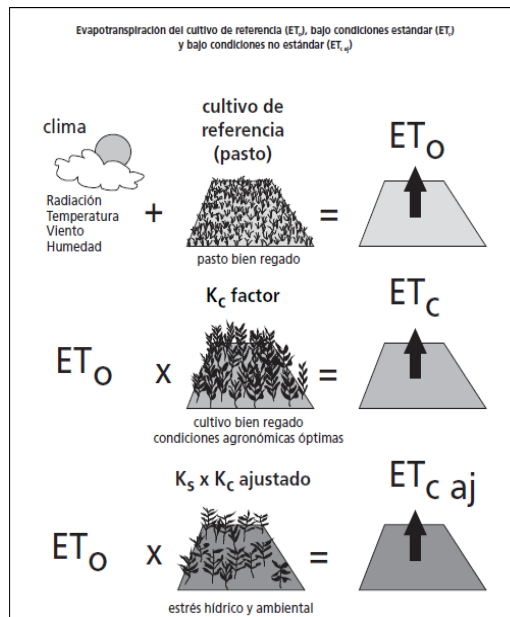
La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año.

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones representadas en las siguientes figuras (Véase Figura 2, Figura 3) y descritos a continuación:



**Figura 2. Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a los conceptos relacionados de ET.**

Fuente: [Allen, 2006]



**Figura 3. Evapotranspiración del cultivo de referencia, bajo condiciones estándar y bajo condiciones no estándar**

Fuente: [Allen, 2006]

### **3.2.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia [Eto]**

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

Los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

El método de Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación del ETo con parámetros climáticos (Allen, 2006).

### **3.2.2. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar [ETc]**

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ETc, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando la evapotranspiración del cultivo de referencia Eto y el coeficiente del cultivo Kc (Allen, 2006).

$$ETc = Kc Eto$$

***Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo [mm/mes]***

### **3.2.3. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar [ETc aj]**

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj) se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ETc debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ETc.

### **3.3. ARIDEZ**

Este tipo de clima se presenta cuando el promedio de lluvias es menor que las pérdidas potenciales de humedad a través de la evaporación y la transpiración. En las zonas en que prevalece el déficit de agua a lo largo de todo el año, las tierras áridas se clasifican como extremadamente áridas o hiperáridas, mientras que cuando ocurre durante la mayoría del año se catalogan como regiones áridas o semiáridas, es importante resaltar que alrededor del 47 por ciento de la superficie de la tierra puede catalogarse como tierras áridas (FAO, 2007).

Las tierras áridas son caracterizadas por presentar un estrés hídrico frecuente, un bajo contenido de materia orgánica y un bajo nivel nutritivo, particularmente de nitrógeno (Skujins, 1991). El bajo contenido de materia orgánica, la baja germinación y la alta mortalidad de plántulas son las principales causas de la productividad extremadamente baja en estos suelos. Las sequías son características de este tipo de clima y puede definirse como períodos (1-2 años) en los que las lluvias se encuentran por debajo del promedio. Las sequías que persisten durante una década o más se conocen como desecación, las cuales

tienen consecuencias desastrosas sobre la productividad de las tierras y la pérdida de la vegetación (FAO, 2007).

La preparación contra la sequía y la mitigación de sus riesgos son aspectos esenciales para un manejo adecuado de las tierras áridas. La diversidad de plantas permite adquirir resistencia a factores de estrés como la sequía. Cuando los pastizales son sometidos a manejo de ganado, la biodiversidad disminuye al tiempo que permite la eficiencia inmediata y constancia a corto plazo en la producción. Sin embargo, las funciones generales de los sistemas disminuyen y, por tanto, también la resiliencia ecológica a largo plazo (Poulsen *et al.*, 2013).

Las zonas áridas cubren un gran número de culturas tradiciones, formas de vida y una gran variedad de ecosistemas que se desarrollan en estos climas, aquellas poblaciones que habitan en esta regiones han creado estrategias para hacerles frente, ya que la sequedad o la aridez les exige una necesidad constante a adaptarse a la escasez actual y potencial del agua, con esto viene la gestión de recursos escasos y de ahí la importancia de una buena gestión económica para asegurar el uso sostenible de las tierras secas (Poulsen *et al.*, 2013).

Se debe tener en cuenta la diferencia que existe entre los términos de sequía y aridez son conceptos que indican cosas distintas, la sequía es un déficit temporal de la lluvia con relación a la considerada como “normal” para un lugar determinado, mientras que la aridez es una característica permanente de ciertos climas. La aridez está presente solo en climas secos por el contrario de la sequía que puede presentarse en todas las regiones del planeta y en todos los tipos de clima desde los secos hasta los lluviosos. La sequía es un fenómeno que no presenta trayectorias definidas, sino que tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y del espacio, mientras que la aridez se manifiesta en territorios específicos cuyas características de paisaje y vegetación permiten diferenciarlos de otros tipos de climas (Ortega, 2012).

Para categorizar las tierras que presentan aridez se debe tener en cuenta todas las variables que intervienen en el clima de la región en cuestión. El Índice de Aridez especifica cual es la situación hídrica de una región en base a la relación oferta/demanda hídrica. La FAO utiliza la relación P/ETP (Precipitación/ Evapotranspiración Potencial) para clasificar las tierras en hiperáridas, áridas, semiáridas y secas subhúmedas. En el contexto de este trabajo se trabajó con la clasificación propuesta por Hassan & Dregne (1997), los cuales se describen en la Tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación del índice de Aridez.**

| CLASIFICACIÓN    | INDICE DE ARIDEZ |
|------------------|------------------|
| Híper-Árido      | < 0,05           |
| Árido            | 0,05 – 0,20      |
| Semiárido        | 0,20 – 0,50      |
| Subhúmedo Seco   | 0,50 – 0,65      |
| Subhúmedo Húmedo | 0,65 – 1,00      |
| Húmedo           | >1               |

### 3.3.1. Índices Complementarios

Para poder entender el comportamiento de estos tipos de clima, se debe entender la variabilidad temporal del recurso hídrico en la zona, considerando esta temporalidad se pueden describir ambos, periodos de déficit y exceso de agua. Complementariamente al índice de aridez se incluyó la evaluación del déficit [DH] y el excedente hídrico [EH].

$$DH = \sum_1^{12} (ET_o - P)$$

**Ecuación 2. Deficiencia Hídrica.**

$$EH = \sum_1^{12} (P - ET_o)$$

### ***Ecuación 3. Excedencia Hídrica.***

Siendo  $E_t$  la evapotranspiración mensual (mm) y  $P$  la precipitación mensual.

## **3.4. MODELOS PROBABILISTICOS**

En una serie de datos estadísticos de una estación hidrológica de medidas, es indispensable resumir esta multitud de cifras en elementos sintéticos que caractericen la estación desde el punto de vista considerado (Monsalve, 1995).

### **3.4.1. Distribución Normal**

La distribución normal es una distribución de probabilidad de variable continua, fue descubierta por gauss al estudiar la distribución de los errores en las observaciones astronómicas. La importancia de esta distribución radica en que permite modelar numerosos fenómenos naturales mientras que los mecanismos que subyacen a gran parte de este tipo de fenómenos son desconocidos, por la enorme cantidad de variables incontrolables que en ellos intervienen, el uso del modelo normal puede justificarse asumiendo que cada observación se obtiene como la suma de unas pocas causas independientes (Arteaga *et al.*, Sf).

La grafica de su función de densidad tiene una forma acampanada y simétrica frente a un determinado parámetro estadístico. Esta curva es conocida como campana de gauss y representa el grafico de una función gaussiana. Aunque muchas veces no se ajusta a los datos hidrológicos tiene amplia aplicación a los datos transformados que siguen la distribución normal.

Parámetros:

$$\mu \in \mathbb{R}; \quad \sigma > 0$$

Dominio:

$$x \in \mathbb{R}$$

Media, mediana y moda:  $\mu = \text{media} = \text{mediana} = \text{moda}$

Varianza:  $\sigma^2 = \text{varianza}$

Función de densidad:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

***Ecuación 4. Función de densidad [Normal].***

Función de distribución:

$$\int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt$$

***Ecuación 5. Función de distribución [Normal].***

### 3.4.2. Distribución de Weibull

La distribución de weibull es una distribución de probabilidad continua ya que puede tomar cualquiera de los infinitos valores existentes dentro de un intervalo. Recibe su nombre de Waloddi Weibull y fue aplicada por primera vez por Rosin y Rammler (1933), para describir la distribución de los tamaños de determinadas partículas.

Weibull demostró que el esfuerzo al que se someten los materiales puede modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. También se ha usado para modelar situaciones del tipo tiempo- falla, ó bien puede indicar la vida útil de cierto artículo, planta o animal, confiabilidad de un componente (Suarez, Sf).

Se dice que X es una variable aleatoria con distribución Weibull sí:



Su función de densidad es de la forma

$$f(x; \lambda; k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

***Ecuación 6. Función de densidad [Weibull]***

Donde  $k > 0$  es el *parámetro de forma* y  $\lambda > 0$  es el *parámetro de escala* de la distribución.

La distribución modela la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo:

- Un valor  $k < 1$  indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.
- Cuando  $k = 1$ , la tasa de fallos es constante en el tiempo.
- Un valor  $k > 1$  indica que la tasa de fallos crece con el tiempo.

Su función de distribución de probabilidad es:

$$F(x; k; \lambda) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$$

***Ecuación 7. Función de Distribución [Weibull].***

Para  $x \geq 0$ , siendo nula cuando  $x < 0$ .

Su Media es

$$E(X) = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

***Ecuación 8. Media Distribución de Weibull.***

Su varianza es

$$Var(X) = \lambda^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]$$

**Ecuación 9. Varianza Distribución de Weibull.**

### 3.4.3. Distribución de Gumbel

Es llamada así en honor a *Emil Julius Gumbel* (1891-1966), es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos. Esta distribución es comúnmente usada en el análisis de frecuencia hidrológico es la distribución general de valores extremos, la cual ha sido ampliamente utilizada para representar el comportamiento de crecientes y sequías (máximos y mínimos), siendo útil también para resolver problemas prácticos de ingeniería como dimensionamiento de redes de drenaje y diversas obras hidráulicas (Barros, 2002).

Una variable aleatoria E sigue una distribución de probabilidad de Gumbel, si:

Función de densidad:

$$F(X) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-d(x-u)}} \text{ con } -\infty \leq x \leq \infty$$

**Ecuación 10. Función de densidad Distribución de Gumbel**

Donde x presenta el valor a asumir por la variable aleatoria, con d y u parámetros y e base de los logaritmos neperianos.

Despejando x de la Ecuación 10, queda;

$$x = u - \frac{\ln(-\ln F(X))}{d}$$

***Ecuación 11. Variable aleatoria distribución de Gumbel***

Para la determinación de los parámetros  $d$  y  $u$ , se utilizan las siguientes expresiones que los definen:

$$u = \bar{x} - 0.450047S$$

***Ecuación 12. Determinación parámetro "U" distribución de Gumbel***

$$\frac{1}{d} = 0.779696S$$

***Ecuación 13. Determinación parámetro "D" distribución de Gumbel***

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética de la serie de datos considerados.

$S$  = desviación típica de la muestra de datos considerados.

Los valores 0,450047 y 0,779696, son válidos para un número de cincuenta datos.

#### **3.4.4. Distribución de Pearson III**

Describe la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento dado en un proceso de Poisson. Cuando la población de acontecimientos es muy positivamente sesgada, los datos por lo general son transformados a Logaritmo y la distribución se llamó Distribución Log Pearson tipo III.

Esta distribución ha sido una de las más utilizadas en hidrología. Como la mayoría de las variables hidrológicas son sesgadas, la función Gamma se utiliza para ajustar la distribución de frecuencia de variables tales como crecientes máximas anuales, Caudales mínimos, Volúmenes de flujo anuales y estacionales, valores de precipitaciones extremas y volúmenes de lluvia de corta duración (Monsalve, 1995).

Función de densidad

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \left( \frac{x - \hat{x}_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left( - \frac{x - \hat{x}_0}{\alpha} \right)$$

**Ecuación 14. Función de densidad Distribución de Pearson III**

Donde,

$$x_0 \leq x < a \text{ para } a > 0$$

$$a < x \leq x_0 \text{ para } a < 0$$

a y b son los parámetros de escala y forma, respectivamente , y  $x_0$  es el parámetro de localización.

Estimación de parámetros

$$\beta = \left( \frac{2}{Cs} \right)^2$$

**Ecuación 15. Estimación de parámetro  $\beta$  distribución de Pearson III**

$$\hat{\alpha} = s \frac{Cs}{2}$$

**Ecuación 16. Estimación del parámetro  $\alpha$  distribución de Pearson III**

$$\hat{x}_0 = \bar{x} - \alpha \hat{\beta}$$

**Ecuación 17. Estimación del parámetro  $\hat{x}_0$  distribución de Pearson III**

Cs es el coeficiente de asimetría,  $\bar{x}$  y S son la media y la desviación estándar de la muestra respectivamente.

### 3.4.5. Distribución de Gamma

Función presentada en primera instancia por Leonard Euler entre los años 1730 y 1731, es una función que extiende el concepto de factorial a los números complejos. Distribución de probabilidad continua adecuada para modelizar el comportamiento de variables aleatorias con asimetría positiva y/o los experimentos en donde está involucrado el tiempo (Muñoz *et al.*, 2014).

Su función de densidad es de la forma:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\alpha^p \Gamma(p)} e^{-\frac{x}{\alpha}} x^{p-1} & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x \leq 0 \end{cases}$$

**Ecuación 18. Función de densidad distribución de Gamma**

Donde:

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} e^{-x} dx$$

**Ecuación 19. Estimación del parámetro "Γ" distribución de Gamma.**

### 3.4.6. Distribución de Log Normal III

Si una distribución normal representa la distribución normal de los logaritmos de la variable x, entonces, la distribución log normal de 3 parámetros representa la distribución normal del logaritmo de la variable reducida (x-c), donde c es un límite inferior (Rivano, 2004).

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(X \leq x) = \int_c^x \frac{1}{a(x-c)\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-[\ln(x-c)-b]^2}{2a^2}}$$

**Ecuación 20. Función de distribución de Log Normal III.**

Donde  $a$  y  $b$  son parámetros de escala y de forma, que corresponden a la desviación estándar y la media de los logaritmos de  $(x-c)$ , respectivamente.

### **3.5. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA [SIG]**

Se entiende por SIG al conjunto organizado de personas, programas y equipos electrónicos que nos permiten de una manera eficiente, capturar datos geográficos referenciados espacialmente que conservan una inteligencia propia sobre topografía y representación para luego almacenarlos, analizarlos y desplegarlos como conocimiento útil, para resolver problemas complejos de planeación y administración y orientar de forma objetiva la toma de decisiones (Boquero, 2010).

Los SIG permiten hacer un análisis exhaustivo del territorio en los ámbitos más diversos, ya que construye modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales; la construcción de estos modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.

Los SIG's han permitido avanzar en el estudio y análisis de los fenómenos geográficos al incorporar sólidas herramientas de análisis y facilitar el tratamiento estadístico de grandes bases de datos espaciales. Los SIG's maneja un análisis espacial con varios métodos de interpolación los cuales tiene la habilidad de integrar los datos climáticos con diferentes áreas para generar, entre otros análisis de vulnerabilidad (Rodriguez *et al.*, 2007).

Dentro de la concepción de los SIG y su gama de aplicaciones, esta plataforma ha sido efectivamente utilizada para estudiar y resolver problemas relativos a los fenómenos climáticos geo-espaciales complejos que varían grandemente en

magnitud y frecuencia, y que pueden afectar a los seres humanos, ocasionar daños a la infraestructura, a las actividades socioeconómicas, y en ocasiones incluso a los ecosistemas.

En el otro sentido, permite desde SIG's de carácter climático y ambiental, incorporar datos meteorológicos para superponer a capas más convencionales (hidrografía, modelos digitales del terreno, pendientes, insolación diaria, entre otras), con el objetivo de realizar determinadas modelizaciones e interpolaciones para sistemas de gestión de riesgos, análisis multicriterio y gestión de recursos naturales (Dodson y Turner, 1996).

Hoy en día, además se puede contar con la integración de información meteorológica en tiempo real a los SIG's debido a que se dispone de sensores remotos de diverso tipo que permiten captar imágenes con las que hacer estimaciones más o menos precisas de diversas variables climáticas y su variación espacial en un momento concreto. Los satélites meteorológicos y los radares meteorológicos se han utilizado para hacer estimaciones de la precipitación, sin embargo requieren un trabajo de calibración importante con datos de pluviógrafo para poder dar estimaciones fiables. La estructura de la información proporcionada por estos sensores es siempre en formato ráster por lo que es fácilmente incorporable a un SIG. Su análisis se basa en operadores de álgebra de mapas: Operadores de vecindad para filtrar la imagen y resaltar determinados aspectos de la misma Operadores locales, índices que permiten obtener variables climáticas a partir de la reflectividad medida por el sensor (Rodríguez *et al.*, 2007).

En el ámbito municipal pueden desarrollarse aplicaciones que ayuden a resolver un amplio rango de necesidades, como por ejemplo:

- Producción y actualización de la cartografía básica.
- Desarrollo, mantenimiento y gestión de redes de electricidad, gas, agua, teléfonos, alcantarillados etc.
- Inventario y avalúo de predios.

- Atención de emergencias (incendios, terremotos, accidentes de tránsito, entre otros).
- Estratificación socioeconómica.
- Regulación del uso de la tierra.
- Control ambiental (saneamiento básico ambiental y mejoramiento de las condiciones ambientales, educación ambiental)
- Evaluación de áreas de riesgos (prevención y atención de desastres)
- Diseño y mantenimiento de la red vial.
- Formulación y evaluación de planes de desarrollo social y económico.

### **3.5.1. Presentación de Datos**

Existen diferentes formas de ilustrar el espacio gracias a que la mayoría de los elementos que existen en la naturaleza permiten ser representados mediante formas geométricas esto nos ayuda a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza.

La elección de un modelo u otro dependerá de las propiedades que se requieran, la información geográfica con la cual trabaja en los SIG, puede encontrarse en dos tipos de presentaciones o formatos: Raster y Vector.

### **3.5.2. Formato Vector**

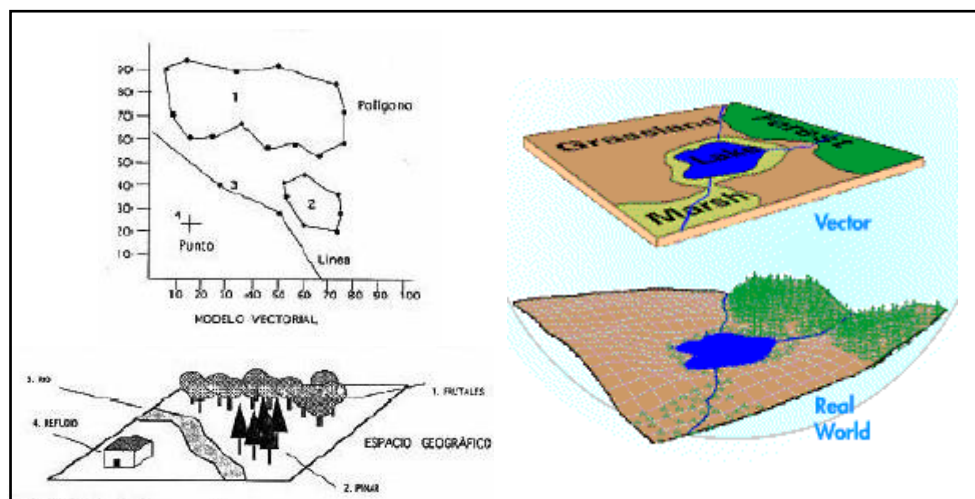
El formato vector define objetos geométricos (puntos, líneas y polígonos) mediante la codificación explícita de sus coordenadas. Los puntos se codifican en formato vector por un par de coordenadas en el espacio, las líneas como una sucesión de puntos conectados y los polígonos como líneas cerradas (formato orientado a objetos) o como un conjunto de líneas que constituyen las diferentes fronteras del polígono (formato Arco/nodo). La localización de los nodos y la estructura topológica se almacena de forma explícita. Las entidades quedan definidas por sus límites



solamente y los segmentos curvos se representan como una serie de arcos conectados. El almacenamiento de los vectores implica el almacenamiento explícito de la topología, sin embargo solo almacena aquellos puntos que definen las entidades y todo el espacio fuera de éstas no está considerado (Uah, Sf).

Este formato resulta especialmente adecuado para la representación de entidades reales ubicadas en el espacio (carreteras, ríos, parcelas de cultivo). También resulta más adecuado que el ráster cuando se manejan datos que suponen un valor promediado sobre una extensión de territorio que se considera homogénea, los límites de la misma pueden ser arbitrarios o no (por ejemplo estadísticas municipales, datos piezométricos en acuíferos, etc.)

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. La figura 4 ilustra el formato vector.



**Figura 4. Representación formato vector.**

Fuente: URL 2.

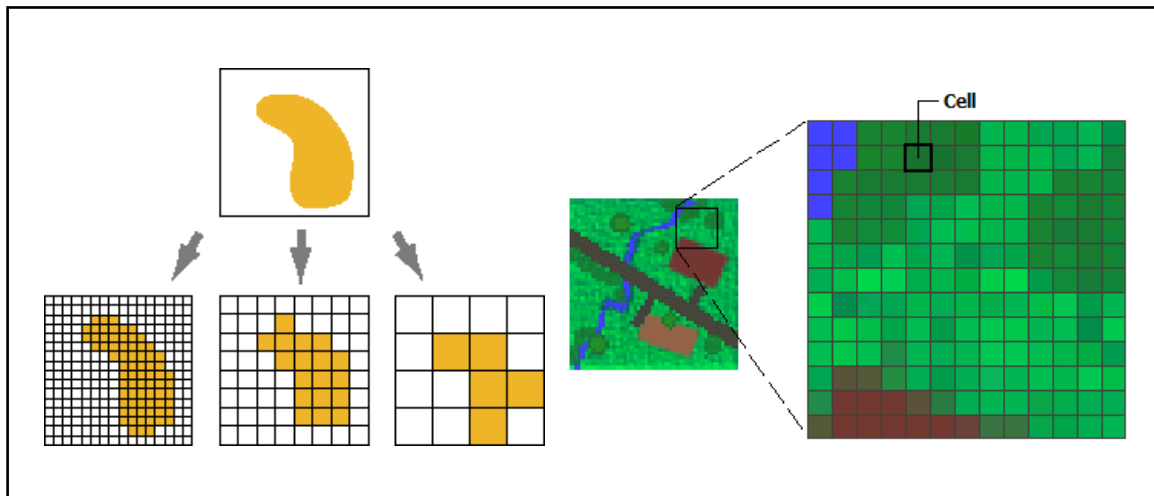
### 3.5.3. Formato Ráster

El formato ráster se compone de filas y columnas de celdas, celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio.

El pixel es la unidad menor de información de una imagen, la combinación de estos creara una imagen, las fotografías aéreas son una forma de datos ráster utilizada comúnmente con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización (Lemmo, 2009).

Otros valores registrados para cada celda pueden ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, o un valor nulo (NoData) para representar la ausencia de datos.

Los valores de celda pueden ser positivos o negativos, enteros o de punto flotante. Los valores enteros es mejor utilizarlos para representar datos categóricos (discretos) y los valores de punto flotante para representar superficies continuas, en la Figura 5 se presentan ejemplos del tipo de formato ráster.



**Figura 5. Representación formato Ráster.**

*Fuente: URL3*

Si bien la estructura de datos ráster es simple, es excepcionalmente útil para una amplia variedad de aplicaciones. En un SIG, los usos de los datos ráster se pueden dividir en cuatro categorías principales:

- Rásteres en forma de mapas base

Las tres fuentes principales de mapas base ráster son las ortofotografías de fotografías aéreas, imágenes de satélite y mapas escaneados.

- Rásteres en forma de mapas de superficie

Los ráster son apropiados para representar datos que cambian continuamente en un entorno (superficie). Ofrecen un método efectivo para almacenar la continuidad en forma de superficie. También proporcionan una representación de superficies con espacios regulares. Los valores de elevación que se miden desde la superficie de la Tierra son la aplicación más común de los mapas de superficie, pero otros valores, como las precipitaciones, la temperatura, la concentración y la densidad de población, también pueden definir superficies que se pueden analizar espacialmente (ArcGIS Resource Center, 2014).

- Rásteres en forma de mapas temáticos

Los ráster que representan datos temáticos se pueden derivar al analizar otros datos. Una aplicación de análisis común consiste en clasificar una imagen de satélite por categorías de cobertura de suelo. Básicamente, esta actividad agrupa los valores de datos multiespectrales en clases (como tipo de vegetación) y asigna un valor categórico.

- Rásteres en forma de atributos de una entidad

Los ráster utilizados como atributos de una entidad pueden ser fotografías digitales, documentos escaneados o dibujos escaneados relacionados con un objeto o ubicación geográfica. Una capa de parcela podría tener documentos

legales escaneados que identifiquen la transacción más reciente de dicha parcela, o una capa que represente las entradas a una cueva que podría incluir imágenes de las entradas reales a las cuevas asociadas a las entidades de puntos (ArcGIS Resource Center, 2014).

### **3.6. MODELOS DE INTERPOLACION**

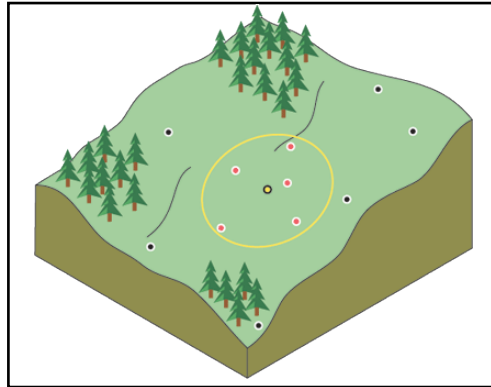
La interpolación de puntos es una herramienta importante a la hora de generar puntos a partir de una muestra de puntos menor. Es necesario, por lo tanto, poseer un algoritmo o fórmula para generar tales puntos utilizados para la representación gráfica de la superficie que se quiere generar. Los métodos de interpolación intentan aproximar una función mediante un polinomio, llamado polinomio algebraico una condición que debe cumplir la función a interpolar es que sea continua en un intervalo cerrado y acotado (Upct, Sf).

La interpolación predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas, niveles de ruido, etc (ArcGIS Resource Center, 2014). Existen muchos tipos de interpolación, tales como IDW, Spline, Vecino natural, Gandin, Cressman y varios tipos de Kriging. A continuación se describen algunos de ellos:

#### **3.6.1. Método de interpolación IDW**

La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación.

En este método IDW (Inverse Distance Weighting) la interpolación del punto problema se realiza asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa, estableciendo una función de proporcionalidad entre el peso y la distancia (Asprilla, Sf). La Figura 6 ilustra el método IDW.



**Figura 6. Vecindad de IDW del punto seleccionado [Modelo IDW].**

Fuente: URL 3

### 3.6.2. Método de interpolación Kriging

El Kriging es definido como “Un método de interpolación por medias ponderadas donde el conjunto de los pesos asignados a los puntos de muestreo minimiza la varianza de estimación, que es calculada en función de un modelo de variograma y de los emplazamientos relativos de los puntos, unos con respecto a otros, así como con relación al punto de estimación” (Englund, 1988).

La fórmula general se forma como una suma ponderada de los datos:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

**Ecuación 21. Formula general [Interpolación Kriging].**

Donde:

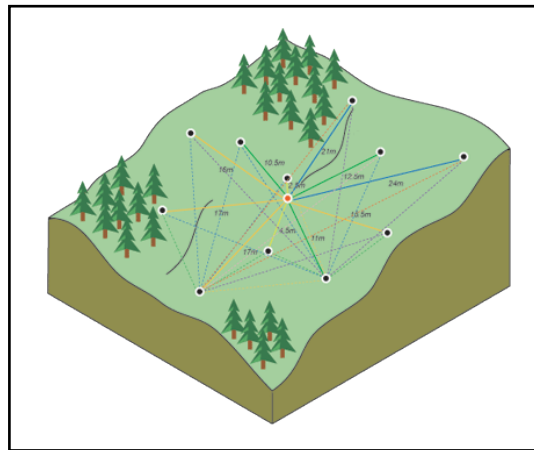
$Z(s_i)$  = el valor medido en la ubicación  $i$

$\lambda_i$  = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación  $i$

$s_0$  = la ubicación de la predicción

$N$  = la cantidad de valores medidos

En el método Kriging, las ponderaciones están basadas no solo en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción, sino también en la disposición espacial general de los puntos medidos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada. Por lo tanto, en un Kriging ordinario, la ponderación,  $\lambda_i$ , depende de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción (ArcGIS Resource Center, 2014). La Figura 7 muestra la asociación de un punto (punto rojo central) con todas las demás ubicaciones medidas y en la Tabla 3 se mencionan los tipos de Kriging y algunas de sus propiedades.



**Figura 7. Cálculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones asociadas [Modelo Kriging].**

Fuente: URL 3

**Tabla 2. Tipos de Kriging y sus Propiedades.**

| TIPO DE PREDICTOR | NOMBRE                      | PROPIEDADES                                                                                                         |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LINEAL            | Simple                      | Se asume que el medio es estacionario, donde es conocido.                                                           |
|                   | Ordinario                   | Asume estacionariedad del primer momento de todas las variables aleatorias, donde es desconocido.                   |
|                   | Universal                   | Supone un modelo de tendencia polinómica general, como modelo de tendencia lineal.                                  |
| NO LINEAL         | Indicador                   | Utiliza funciones del indicador en lugar del propio proceso, con el fin de estimar las probabilidades de transición |
|                   | Log Normal, Trans Gaussiano | Interpola datos positivos mediante logaritmos                                                                       |
|                   | Disyuntivo                  | Es una generalización no lineal del Kriging                                                                         |

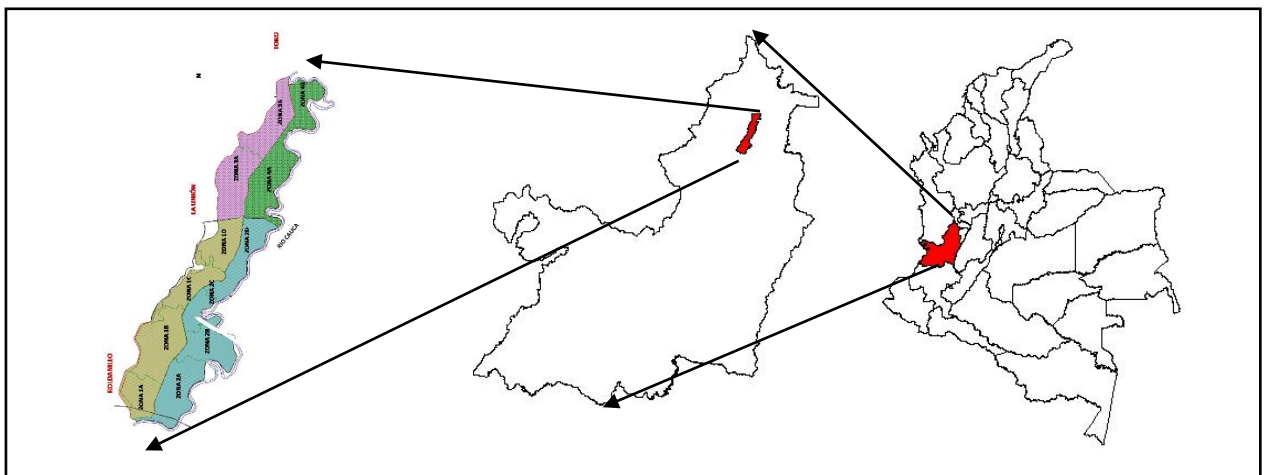
*Fuente: URL4*

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. LOCALIZACION

El Distrito de Riego RUT se encuentra ubicado dentro de los tres municipios que dan su nombre Roldanillo, La Unión y Toro. Este se encuentra en el sur-oeste de Colombia, en la parte norte del departamento como se ve en la Figura 8. El distrito de riego y drenaje RUT comprende una superficie de 10200 ha, área que es cultivada por más de 1200 usuarios.

El RUT se localiza entre las coordenadas 980000N – 1001000N y 115000E – 1116000E cuenta con una temperatura promedio de 24 °C, oscilando entre los 16 °C y 35 °C, la precipitación es bimodal, con dos periodos secos y húmedos. La precipitación media anual es de unos 1100 mm, la humedad relativa promedio mensual es de 79,9% y la evaporación anual es 1800 mm/año. La velocidad promedio mensual del viento varia alrededor de los 16.2 y 42.4 km/día y la duración de la insolación es 1936 horas como promedio anual (Moreno, 2013).



**Figura 8. Localización del distrito RUT.**



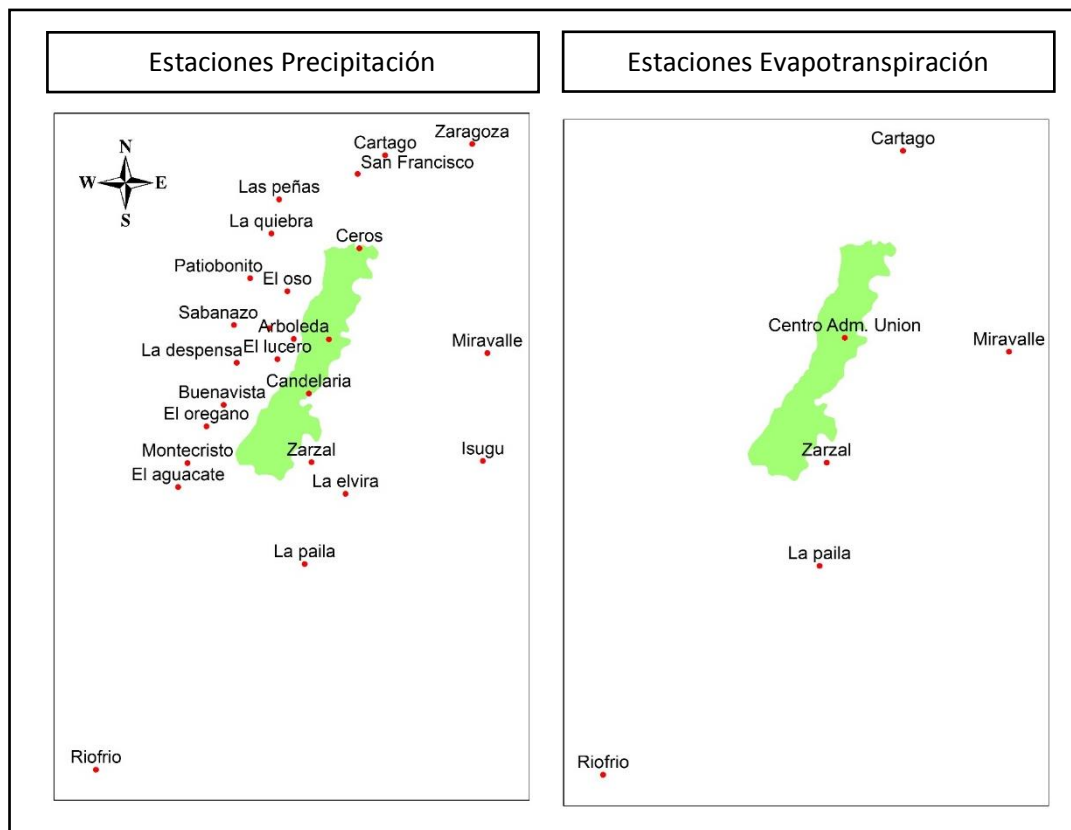
## **4.2. BASE CARTOGRAFICA**

Para llevar a cabo la identificación y delimitación del distrito se contó con la cartografía oficial de la CVC, la cual ha sido entregada a la Universidad del Valle mediante convenio. Se contó con el plano donde se encuentran ubicadas las estaciones.

## **4.3. RECOPIACIÓN DE DATOS**

Se realizó una recopilación de datos de estaciones meteorológicas que monitorean la región, los datos fueron producidos por la Corporación Autónoma Regional del valle del cauca (CVC) por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA).

En la Figura 9 se presenta la localización de las estaciones utilizadas en el análisis de precipitación y evapotranspiración potencial.



**Figura 9. Localización de las estaciones de precipitación y evapotranspiración en el Distrito de Riego RUT.**

#### **4.4. ANALISIS EXPLORATORIO Y CONFIRMATORIO DE DATOS**

Se realizó un control de calidad de los datos climáticos estudiados con el fin de describir su comportamiento estadístico y así la confiabilidad de los mismos.

##### **4.4.1. Estimación de datos Faltantes**

Es frecuente que, por una u otra razón, existan vacíos o interrupciones en el registro de datos, entonces, se hace necesario para completar estos registros al periodo básico de diseño, la estimación de los datos faltantes (Jiménez, 1992).

La estimación de datos faltantes se realizó por el método de las proporciones normales el cual establece una razón de proporcionalidad entre la precipitación mensual y anual (Montealegre, Sf).

#### **4.4.2. Análisis Grafico**

Se realizó un análisis gráfico con el programa estadístico Minitab 16 Statistical software, con el fin de obtener histogramas, diagrama de cajas, diagramas de cuantiles y contrastes de hipótesis que permitieron una primera aproximación visual a las series de datos, pudiendo identificar así su comportamiento (tendencias y cambios).

#### **4.4.3. Análisis descriptivo numérico**

Se realizó un análisis numérico por medio del programa estadístico SPSS 11,5 por cada estación en el cual se obtuvieron medidas estadísticas de tendencias centrales tales como media, mediana, desviación típica, varianza y el coeficiente de distribución de Kurtosis.

Para la obtención de datos atípicos se determinaron los valores extremos por medio del mismo programa, estos valores adicionan el mes y el año de ocurrencia lo que permitió identificar el periodo y evento que se pudo presentar en el momento, permitiendo así realizar un análisis de las causas de estos y poder decidir la inclusión o descarte de los mismos. Estos valores máximos fueron comparados de acuerdo con el Valor Máximo Teórico (VTM), ecuación que tiene en cuenta la media y la desviación estándar de la estación. Los valores mayores a estos son aquellos considerados valores extremos estadísticamente.

#### **4.4.4. Prueba de Normalidad**

La prueba de normalidad se realizó mediante el software SPSS con la prueba de Shapiro Wilk, El análisis de los datos arrojó una significancia estadística menor a 0,05 rechazando así la hipótesis nula, identificando la no normalidad de los datos, pese a esto se hace necesaria la realización de las pruebas no paramétricas para la ampliación del análisis.

#### **4.4.5. Análisis Confirmatorio**

Luego de realizar las pruebas de normalidad, se realiza el análisis confirmatorio con el fin de determinar si la serie no presenta tendencia y es homogénea. Según el comportamiento de la serie histórica se aplicaron pruebas no paramétricas las cuales no requieren de ningún supuesto de normalidad o de otra distribución conocida (Castro y Carvajal, 2010), por medio de la prueba no paramétrica U de Mann – Whitney se permitió hallar las estaciones que eran comparables estadísticamente entre si y así ajustar aquellos valores atípicos arrojados en las pruebas de normalidad.

### **4.5. CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION $ETo$**

De acuerdo a los datos obtenidos por las estaciones climatológicas se utilizó el método de García López el cual toma en cuenta la temperatura y las condiciones ambientales de déficit de saturación del aire como las determinantes en la evapotranspiración (Jiménez, 1992) y el método de Thornthwaite el cual está basado en función de la temperatura media, la duración astronómica del día y el número de días del mes.

#### 4.6. ANALISIS DE PROBABILIDAD

Las series de precipitación completas y las de evapotranspiración calculadas se procesaron en el software EDA-DISTRIB para identificar el mejor modelo de probabilidad. El software mencionado genera las distribuciones de probabilidad *Normal*, *Weibull*, *Gumbel*, *Log Pearson III*, *Gamma* y *Log Normal III*. El indicador para seleccionar el mejor modelo de ajuste fue Error Cuadrático Medio. La expresión para su cálculo se presenta a continuación:

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$$

**Ecuación 22. Error Cuadrático Medio.**

Siendo  $\hat{y}_i$  un vector de n predicciones y  $y_i$  el vector de los verdaderos valores.

#### 4.7. ANALISIS ESPACIAL

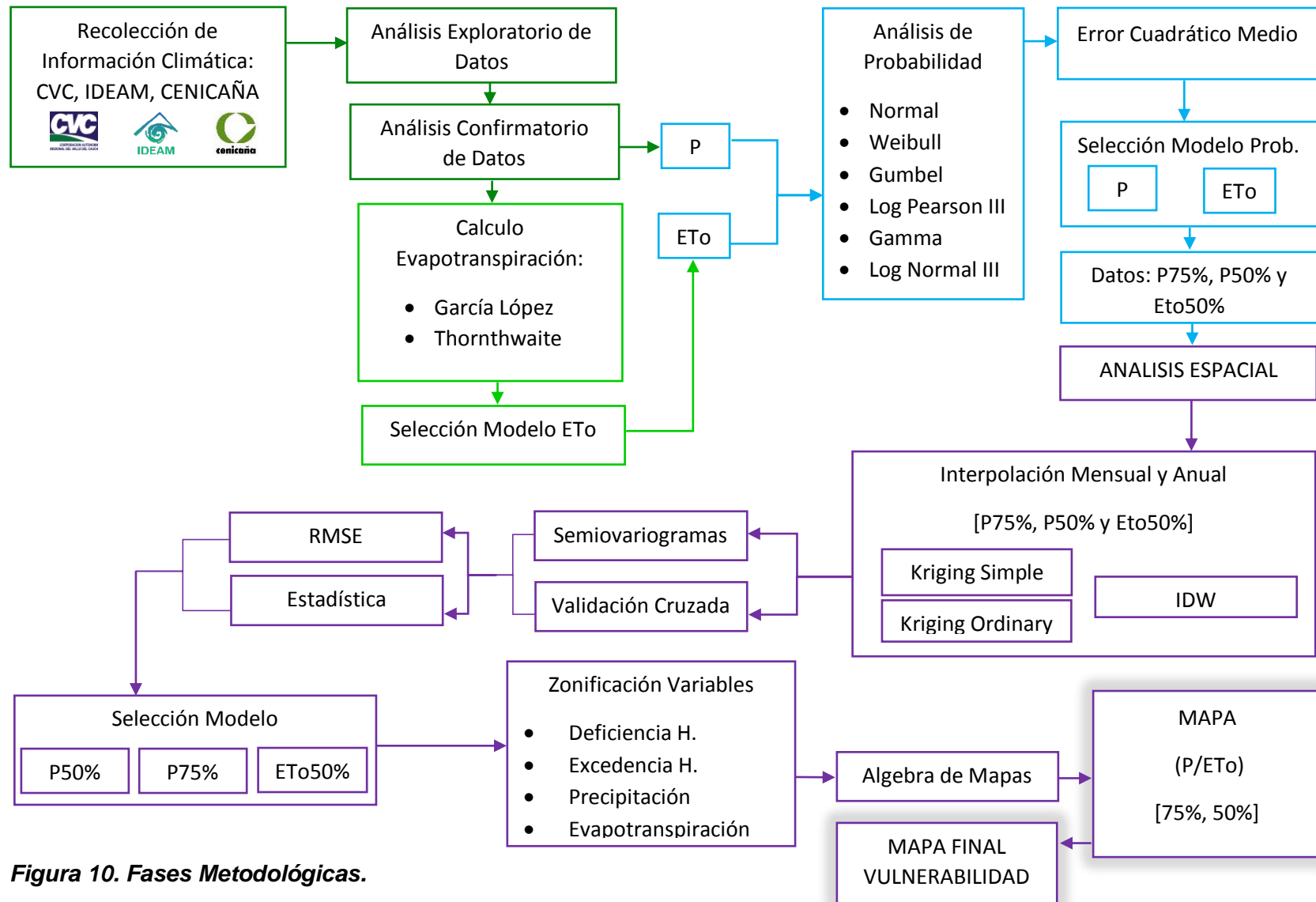
Una vez definido el mejor modelo de probabilidad se procedió a espacializar la información de precipitación y evapotranspiración potencial. En los dos casos se usó la extensión Geostatistical Analyst del software ArcGis 10.3.

Para la precipitación se llevó a cabo el siguiente procedimiento: De acuerdo a revisión de literatura, el interpolador usado por excelencia para este tipo de información es el Kriging (Bargaoui y Chebbi, 2009; Di Piazza *et al.*, 2011; Bostan *et al.*, 2012) dado que se fundamenta en la relación espacial existente entre los datos. Dado lo anterior se procedió a explorar dos tipos de interpolación Kriging (*Simple* y *Ordinary*), para dos modelos de semivariograma (*Spherical* y *Exponential*). Se construyó una tabla con indicadores que permitieron seleccionar

el mejor modelo. Tales indicadores fueron: los parámetros del semivariograma (*nugget*, *sill* y *lag size*), *Root Mean Square Error* (RMSE), el valor medio del parámetro en la superficie ráster de interés (Distrito de Riego RUT) y la desviación estándar.

Para el caso de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) se seleccionó un interpolador determinístico, dado que el número de estaciones disponible es mucho menor que en el caso de precipitación y que se verificó una mínima variación temporal y espacial del parámetro en comparación con la precipitación. El interpolador seleccionado fue el IDW, el cual ha sido usado por algunos autores para la zonificación de esta variable (Li *et al.*, 2013; Tang *et al.*, 2011; Raziei y Pereira, 2013).

Finalmente, se procedió a generar los mapas de Índice Aridez, Deficiencia y Excedencia hídrica para los escenarios de probabilidad de 50% y 75%. Lo anterior se realizó mediante el uso de la técnica de álgebra de mapas (herramienta Raster Calculator). En la Figura 10 se presenta un diagrama de procesos que resumen las fases metodológicas llevadas a cabo.



**Figura 10. Fases Metodológicas.**

## **5. RESULTADOS Y ANALISIS**

### **5.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO Y CONFIRMATORIO DE DATOS**

#### **5.1.1 Estimación de datos faltantes**

Una vez seleccionadas las 24 estaciones de registro, 18 pluviométricas y 6 climatológicas, se seleccionó un periodo común de registro (10 años); este periodo se seleccionó teniendo en cuenta que las dos variables principales a trabajar (P, ETo) se encontraran en el mismo periodo hidrológico, ya que esto es determinante en el comportamiento de las mismas y en la relación del índice de aridez que es la relación final a trabajar en el contexto de este trabajo. Luego se completaron los datos faltantes de las estaciones por el método de las proporciones normales automatizando hojas de cálculo en Microsoft Excel.

#### **5.1.2 Análisis gráfico**

##### **5.1.2.1 Diagrama de Cajas**

Mediante este tipo de gráficos podemos observar cuartiles, valores mínimo y máximo, mediana y valores atípicos. Los resultados de la Figura A presentada en el **Anexo A**, permiten observar que todas las estaciones excepto la estación Sabanazo presentan valores atípicos y extremos, también se permite apreciar que las estaciones presentan una tendencia central en su totalidad exceptuando la estación El Lucero, esto se puede interpretar como distribuciones simétricas permitiendo así inferir valores cercanos entre la media y la mediana. En la Figura B presentada en el mismo anexo se puede observar que las estaciones Vesubio, Cartago, La Paila, Riofrio y Zarzal presentan intercuartílico menor a los de las otras estaciones suponiendo con esto una menor dispersión en los datos, estos diagramas en igual escala también nos permiten apreciar que la concentración de los datos de precipitación se encuentra entre los 16 mm y los 200 mm.



### 5.1.2.2 Histogramas

Estas imágenes se encuentran en el **Anexo A** (Figura C y D) y permiten apreciar de manera general la no normalidad de los datos ya que en su mayoría se encuentran a la derecha de la media, lo que indica la gran tendencia a las precipitaciones mínimas.

### 5.1.2.3 Gráfica de serie de tiempo

Estas graficas permiten conocer el comportamiento mensual multianual [2002-2011], al tiempo que revelan la tendencia de la precipitación, su modalidad y las temporadas donde esta variable es mayor. En el **Anexo A** (Figura E) se presentan los diagramas de barras realizados con las medias por cada estación, estas revelan la bimodalidad de la variable y su tendencia a ser mayor en los meses de marzo a mayo, octubre a noviembre y la tendencia a precipitaciones más bajas en los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre.

### 5.1.3 Análisis Descriptivo Numérico

En la Tabla A ubicada en el **Anexo A** se muestran las medidas estadísticas de tendencias centrales obtenidas tales como media, mediana, desviación típica, varianza y el coeficiente de distribución de Kurtosis, este análisis describe un valor máximo de precipitación para la estación Arboleda con 722 mm, la tabla también indica que los valores de las medias son próximos entre sí.

Las menores desviaciones estándar se presentan en las estaciones Vesubio, Cartago, La Paila, Riofrio y Zarzal coincidiendo así con lo presentado en los resultados de los diagramas de caja donde estas estaciones son las que presentaban menor dispersión en sus datos con un menor recorrido intercuartílico. El coeficiente de variación varía entre 51,39 y 88,54, siendo mayor en la estación Arboleda donde se presenta la precipitación máxima y menor en la estación Centro Administrativo La Unión; esta variable permite tener una idea de que tanto tienden

a desviarse los valores de la media, siendo en este caso altos ya que superan el 50%, descartando así una tendencia de acuerdo a la media.

En la Tabla B (**Anexo A**) se presenta una comparación entre los valores atípicos reales y el valor teórico hallado por medio de la fórmula de Valor Máximo Teórico (VTM), Los valores máximos que superaran en gran cantidad al valor máximo teórico se estudia el mes y año de ocurrencia y se busca identificar el evento que pudo ocasionar este valor atípico, los resultados arrojaron tres datos atípicos muy extremos donde ningún evento registrado en la zona en esos años y meses de ocurrencia pueden sustentar estos tres valores, por eso los valores fueron descartados y ajustados por medio del método de proporciones normales por cada estación, los valores ajustados se presentan resaltados en amarillo en el Anexo 1 Tabla 2.

#### 5.1.4 Prueba de normalidad

Los resultados obtenidos por la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se presentan en la Tabla C, **Anexo A**. Estos resultados nos indican un rechazo de la hipótesis nula, ya que los valores están por debajo de 0.05, indicando la no normalidad de los datos, siendo necesario así aplicar pruebas no paramétricas.

#### 5.1.5 Análisis confirmatorio

Luego de realizar las pruebas de normalidad y rechazar la hipótesis nula se realizan la prueba no paramétrica U de Mann – Whitney. En el **Anexo A** (Tabla D) se puede encontrar las estaciones que son comparables estadísticamente entre sí y con esto determinar la aceptación o descarte de los datos atípicos arrojados anteriormente por la prueba de datos atípicos, donde estos datos fueron comparados con el valor máximo teórico. Se realizaron un total de 325 comparaciones, donde se permite apreciar las estaciones comparables entre si horizontalmente. Para mayor comprensión de la prueba realizada, se codificaron las estaciones. Estos resultados se presentan en la Tabla E del **Anexo A**.

## 5.2 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN ETo

Los resultados calculados por los dos métodos para el cálculo de evapotranspiración (García López y Thornthwaite) se presentan en la Tabla F y G **Anexo B**, el método escogido fue García López ya que sus datos representaron mejor la zona. En la Tabla 3 se podrá visualizar el promedio mensual multianual de la ETo del método seleccionado.

**Tabla 3. Resultados Evapotranspiración promedio método García López (mm/mes).**

| ESTACIÓN          | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MIRAVALLE</b>  | 106,2 | 102,4 | 106,0 | 91,5  | 100,1 | 88,8  | 104,6 | 101,8 | 92,0  | 88,7  | 85,1  | 93,1  |
| <b>CARTAGO</b>    | 131,7 | 126,7 | 132,8 | 119,0 | 120,7 | 115,3 | 127,8 | 132,7 | 126,0 | 120,5 | 114,2 | 125,2 |
| <b>LA PAILA</b>   | 133,2 | 127,0 | 134,5 | 120,6 | 126,6 | 121,4 | 132,4 | 135,8 | 130,0 | 122,9 | 117,5 | 125,3 |
| <b>RIOFRIO</b>    | 133,0 | 123,8 | 133,0 | 120,8 | 126,5 | 120,2 | 131,9 | 137,2 | 131,2 | 122,5 | 118,4 | 124,8 |
| <b>ZARZAL</b>     | 136,0 | 125,3 | 133,5 | 124,1 | 126,2 | 124,6 | 130,3 | 137,0 | 127,1 | 118,5 | 117,0 | 124,4 |
| <b>C ADM. UN.</b> | 126,5 | 123,0 | 135,1 | 120,6 | 121,6 | 118,5 | 127,7 | 134,7 | 127,3 | 117,8 | 117,2 | 125,3 |

## 5.3 ANÁLISIS DE PROBABILIDAD

Luego de realizar el análisis exploratorio de datos y haber calculado la evapotranspiración, se pasó a procesarlos por medio del software EDA-DISTRIB el cual evaluó los datos por los 7 modelos probabilísticos mencionados, graficando los datos de referencia por medio del modelo de “Weibull”, para luego automatizar una hoja de Excel que permitiera evaluar el método del error cuadrático medio y escoger el modelo probabilístico que tuviera en mejor ajuste para los 2 parámetros (P, Eto) en los 12 meses del año y las 25 estaciones. A continuación se presenta la tabla general donde se aprecia el modelo con mejor ajuste por cada estación a lo largo de los 12 meses del año:

**Tabla 4. Modelos Probabilísticos con mejor ajuste para Precipitación.**

|                                                                                              | ESTACION    | ENERO | FEB | MARZO | ABRIL | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>CENICAN</b>                                                                               | CARTAGO     | Nor   | Gam | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor | Gam | Gam | Gam |
|                                                                                              | LA PAILA    | Nor   | Gam | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Gam | Gam | Gam | Gam | Gam | Nor |
|                                                                                              | RIOFRIO     | Nor   | Gam | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Gam | Gam | Gam | Gam | Gam | Gam |
|                                                                                              | ZARZAL      | Nor   | Gam | Gam   | Gam   | Nor | Gam | Gam | Gam | Nor | Nor | Nor | Nor |
| <b>IDEAM</b>                                                                                 | ARBOLEDA    | Gum   | Gum | Gam   | Nor   | Nor | Gam | Gam | Nor | Nor | Gam | Gam | Gam |
|                                                                                              | CANDELARIA  | Nor   | Nor | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Nor | Gam | Nor | LN3 | Gam | Gam |
|                                                                                              | CENT.ADM.   | Nor   | Gam | Gam   | LN3   | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor | Gam | Gum | Nor |
|                                                                                              | CEROS       | Nor   | Gam | Gam   | Gam   | Nor | Nor | Gam | Nor | Gam | Gam | Gam | Nor |
|                                                                                              | ISUGU       | Nor   | Nor | Nor   | Gam   | Gam | Nor | Gam | Nor | Gam | Nor | Nor | Gam |
|                                                                                              | SANFRANC.   | Gam   | Gam | Nor   | Nor   | Gam | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor | Nor | Gam |
| <b>CVC</b>                                                                                   | ZARAGOZA    | Gam   | Gum | Gam   | Nor   | Nor | Nor | Nor | Gam | Gum | Nor | Nor | Nor |
|                                                                                              | BUENAVIST.  | Gam   | Gum | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Gam | Nor | Gam | Gam | Gam | Gam |
|                                                                                              | ELAGUACATE  | Gum   | Gam | Nor   | Gam   | Gam | Nor | Gam | Nor | Gam | Gam | Gam | Nor |
|                                                                                              | ELLUCERO    | Nor   | Nor | Nor   | Gam   | Nor | Nor | Gam | Gam | Nor | Nor | Gam | Gam |
|                                                                                              | ELOREGANO   | Gam   | Gum | Nor   | Gam   | Nor | Nor | Gam | Gam | Gam | Gam | Gam | Gam |
|                                                                                              | ELOSO       | Nor   | Gam | Gam   | Nor   | Gam | Nor | Gam | Nor | Gam | Gum | Gam | Nor |
|                                                                                              | EL PORVENIR | Nor   | Gam | Gam   | Nor   | Nor | Nor | Nor | Nor | Gam | Nor | Gum | Nor |
|                                                                                              | ELVESUBIO   | Gum   | Nor | Nor   | Gam   | Nor | Nor | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor | Nor |
|                                                                                              | LADESPENSA  | Nor   | Gum | Gam   | Nor   | Nor | Nor | Gam | Gum | Gam | Nor | Nor | Nor |
|                                                                                              | LAELVIRA    | Gum   | Nor | Nor   | Gam   | Gam | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor | Nor | Gam |
|                                                                                              | LAQUIEBRA   | Gam   | Nor | Nor   | Nor   | Gam | Nor | Gam | Gum | Gam | Gam | Gam | Gam |
|                                                                                              | LASPEÑAS    | Nor   | Nor | Gam   | Nor   | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor | Gam | Gam | Gam |
|                                                                                              | MIRAVALLE   | Nor   | Gum | Gam   | Gam   | Nor | Gam | Gam | Nor | Nor | Gam | Nor | Gum |
|                                                                                              | MONTECRISTO | Nor   | Nor | Nor   | Gam   | Nor | Nor | Gam | Nor | Gam | Nor | Gam | Gam |
|                                                                                              | PATIOBONITO | Nor   | Nor | Gam   | Gam   | Nor | Nor | Gam | Nor | Gam | Nor | Gam | Gum |
|                                                                                              | SABANAZO    | Gam   | Nor | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor | Nor | Gam | Gam |
| Gam: Gamma; Nor: Normal; Gum: Gumbel; Wbl: Weibull; PIII: LogPearsonIII; NIII: LogNormal III |             |       |     |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |

**Tabla 5. Modelos Probabilísticos con mejor ajuste para Evapotranspiración.**

| ESTACION                                                                                     | ENERO | FEB | MARZO | ABRIL | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>CARTAGO</b>                                                                               | Nor   | Nor | Nor   | Nor   | Gam | Gum | Nor | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor |
| <b>LA PAILA</b>                                                                              | Nor   | Nor | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor |
| <b>RIOFRIO</b>                                                                               | Gam   | Nor | Nor   | Nor   | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor | Gam | Nor | Nor |
| <b>ZARZAL</b>                                                                                | Gam   | Nor | Nor   | Gam   | Gam | Gam | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor | Nor |
| <b>CENT.ADM.</b>                                                                             | Nor   | Nor | Nor   | Gam   | Nor | Nor | Gam | Nor | Gam | Nor | Nor | Gum |
| <b>MIRAVALLE</b>                                                                             | Gam   | Nor | Gam   | Gam   | Nor | Gum | Gum | Gam | Nor | Nor | Nor | Nor |
| Gam: Gamma; Nor: Normal; Gum: Gumbel; Wbl: Weibull; PIII: LogPearsonIII; NIII: LogNormal III |       |     |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |

A partir de las tablas anteriores se produjo la Tabla 6.

**Tabla 6. Modelos Probabilísticos.**

| PRECIPITACION   |     | EVAPOTRANSPIRACION |    |
|-----------------|-----|--------------------|----|
| Normal          | 161 | Normal             | 53 |
| Gamma           | 131 | Gamma              | 15 |
| Gumbel          | 18  | Gumbel             | 4  |
| Log Normal III  | 2   | Log Normal III     | 0  |
| Log Pearson III | 0   | Log Pearson III    | 0  |
| Weibull         | 0   | Weibull            | 0  |

El modelo que presento mejor ajuste con mayor frecuencia fue “*Normal*” para los dos parámetros, en la Tabla H y Tabla I del **Anexo C** se presenta los datos resultantes con el método probabilístico de “*Normal*” a una probabilidad del 75% y 50%. Estos dos porcentajes de probabilidad fueron seleccionados para representar un comportamiento medio (50%) y un comportamiento critico (75%).

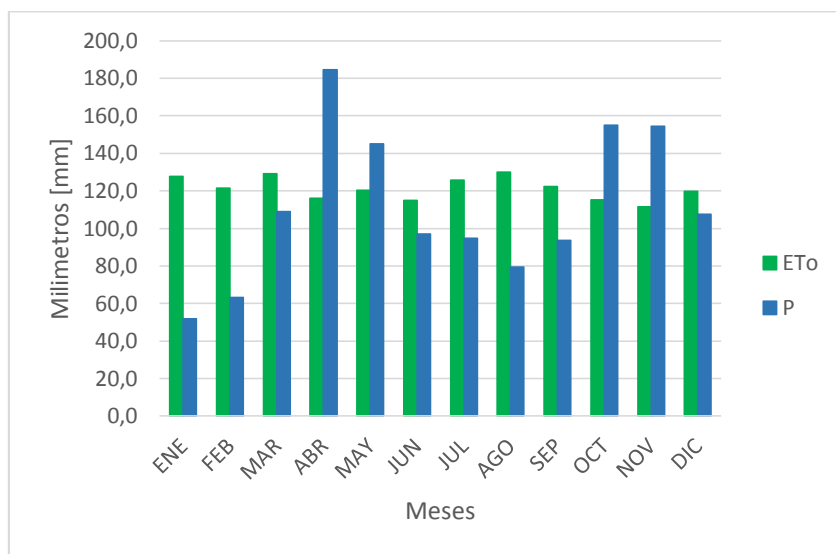
#### 5.4 ANÁLISIS ESPACIAL

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de los modelos de semivariograma modelados por medio de la herramienta Geostatistical Analyst del ArcGis 10.3 para el caso de los datos de precipitación. De acuerdo a lo encontrado, se seleccionó *Simple Kriging* con semivariograma *Spherical*, ya que presenta una segunda menor proporción de varianza inexplicada (menor valor de *nugget* o efecto pepita) y el primer menor valor de RMSE. De igual manera este modelo es el que presenta un mayor alcance (*lag size*).

**Tabla 7. Modelos Semivariograma.**

| TIPO KRIGING | Modelo Semivariograma | Nugget | Sill   | Lag size | RMSE  | Mean   | SD   |
|--------------|-----------------------|--------|--------|----------|-------|--------|------|
| ORDINARY     | Spherical             | 0,0083 | 0,0039 | 1020,8   | 223,3 | 1203,0 | 25,4 |
| ORDINARY     | Exponential           | 0,0059 | 0,0065 | 1020,8   | 223,0 | 1203,1 | 25,6 |
| SIMPLE       | Spherical             | 0,0046 | 0,0158 | 1917,3   | 169,2 | 1206,9 | 26,1 |
| SIMPLE       | Exponential           | 0,0009 | 0,0148 | 1352,0   | 173,7 | 1231,6 | 32,5 |

En el caso de la Evapotranspiración potencial, se seleccionó el interpolador determinístico IDW, ya que la variación temporal y espacial del parámetro es mínima en comparación con los datos de precipitación, a continuación se presenta un gráfico de barras (Figura 11) donde se presentan la media de cada variable a nivel mensual y una tabla (Tabla 8) donde se tienen en cuenta el coeficiente de variación y el rango para corroborar lo mencionado anteriormente.



**Figura 11. Media Mensual de Precipitación y Evapotranspiración.**

**Tabla 8. Determinación de parámetros de variabilidad.**

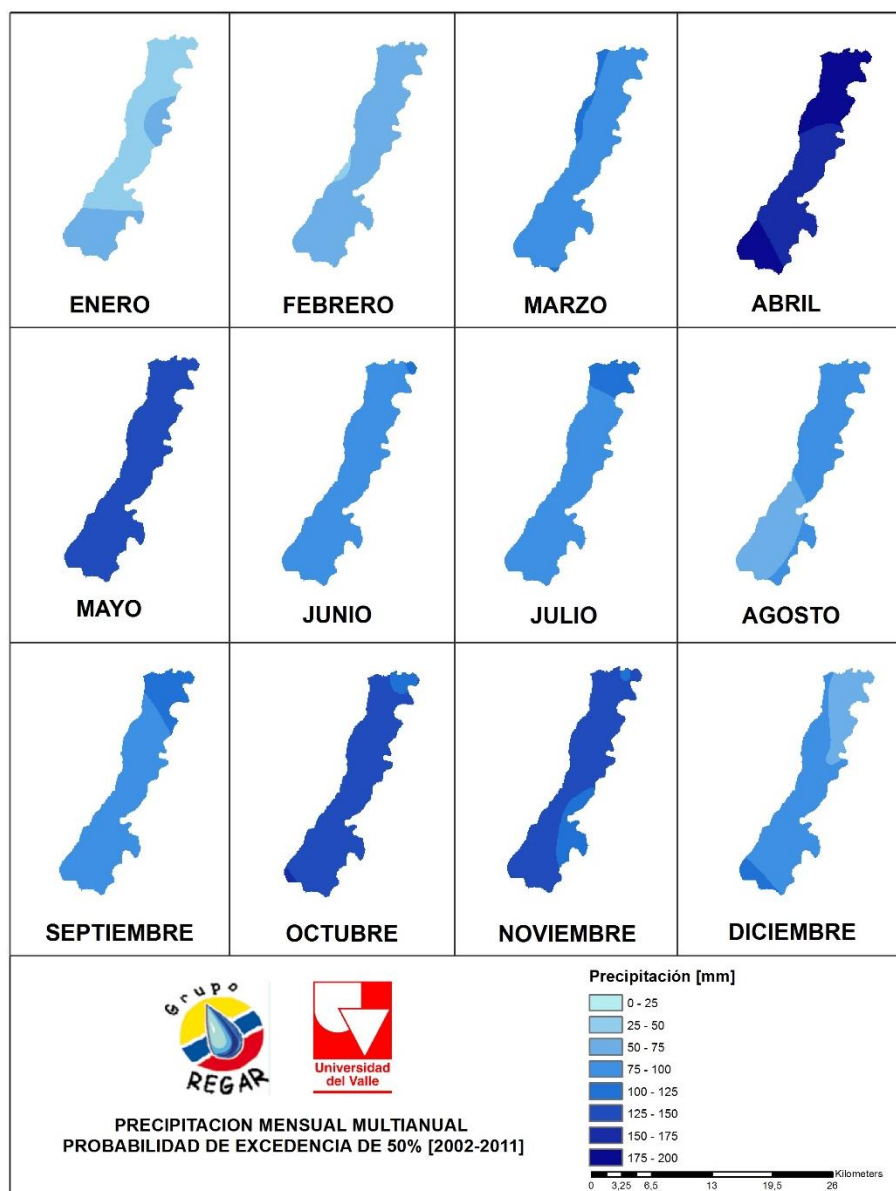
|       | P       | ETo     |
|-------|---------|---------|
| Desv  | 188,070 | 144,496 |
| CV    | 0,141   | 0,099   |
| Rango | 677,014 | 366,647 |

En la Figura 10 se permite apreciar la poca variabilidad de ETo, ya que permanece estable a lo largo del año. Por el contrario la Variable P tiene gran variación temporal. En la Tabla 8, permite corroborar estadísticamente lo mencionado anteriormente ya que el coeficiente de variación y el rango es mucho menor en la variable ETo lo que indica una menor dispersión de los datos.

Espacialmente, la poca densidad de las estaciones meteorológicas en la región no permite una buena correlación espacial necesaria a la hora de emplear métodos geoestadísticos.

#### **5.4.1 Mapa de Precipitación [Probabilidad de Excedencia 50%]**

Para un escenario medio como se muestra en la Figura 12, la precipitación se encuentra entre 50 y 200 mm/mes, estos permiten apreciar un comportamiento bimodal de la variable con mayores precipitaciones en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre y su tendencia a valores más bajos en la zona sur para los meses de julio y agosto, por el contrario para el mes de enero, octubre, noviembre y diciembre los valores más altos se presentan en esta zona. Para los otros meses no nombrados su comportamiento no representa variaciones representativas.



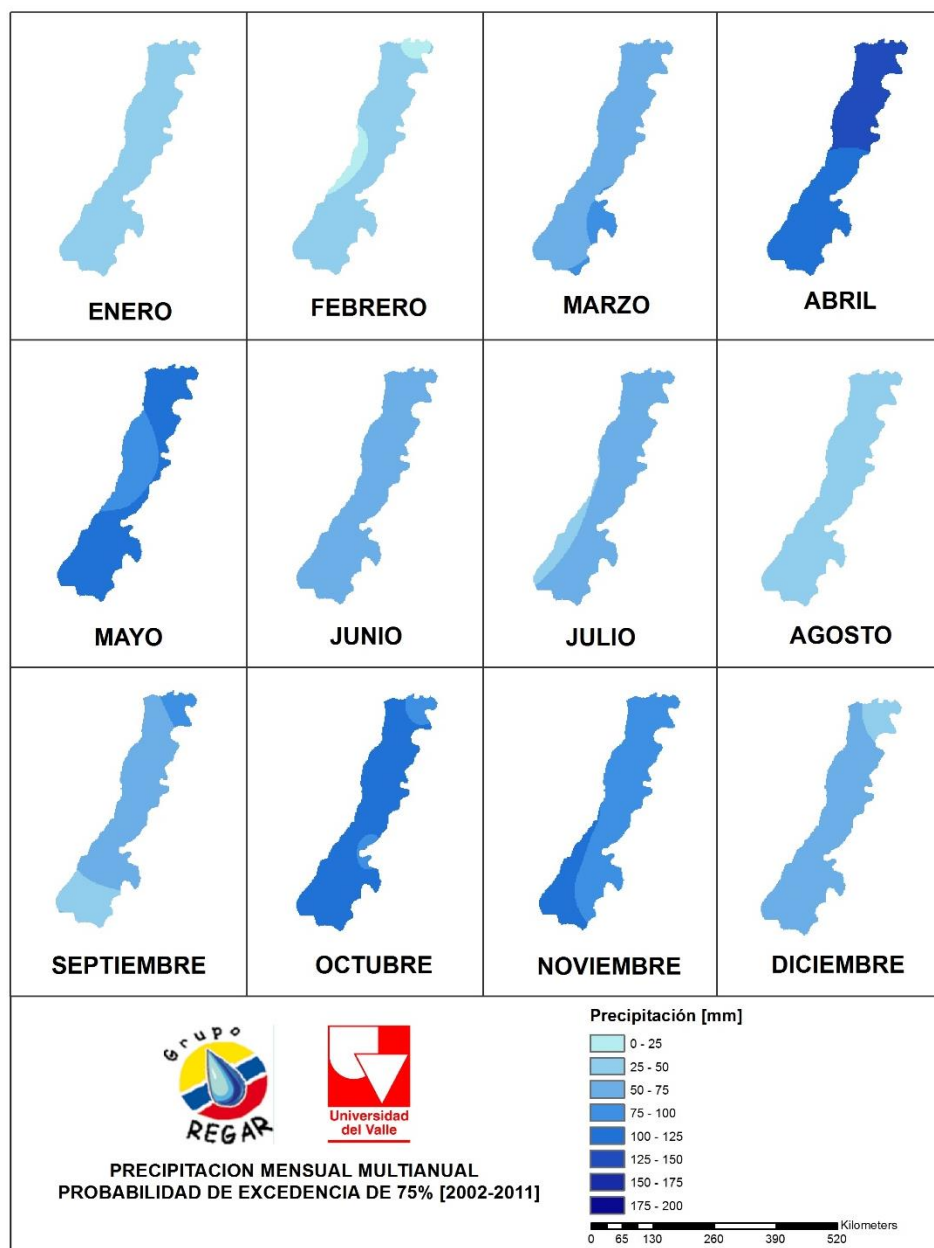
**Figura 12. Mapa de Precipitación (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 50%]**

#### 5.4.2 Mapa de Precipitación [Probabilidad de Excedencia 75%]

Para este escenario situado como crítico representado gráficamente en la Figura 13, la precipitación se encuentra entre 0 - 150 mm/mes, demostrando su comportamiento bimodal, teniendo las mayores precipitaciones en los meses de abril y mayo y otro periodo en los meses de octubre y noviembre. En los meses de febrero y mayo se presenta una variación de menores precipitaciones en la parte centro-oeste y en los meses de julio y septiembre se presenta esta disminución en



la parte sur, para los meses de enero, abril, junio, octubre, noviembre y diciembre no se presentan variaciones representativas.

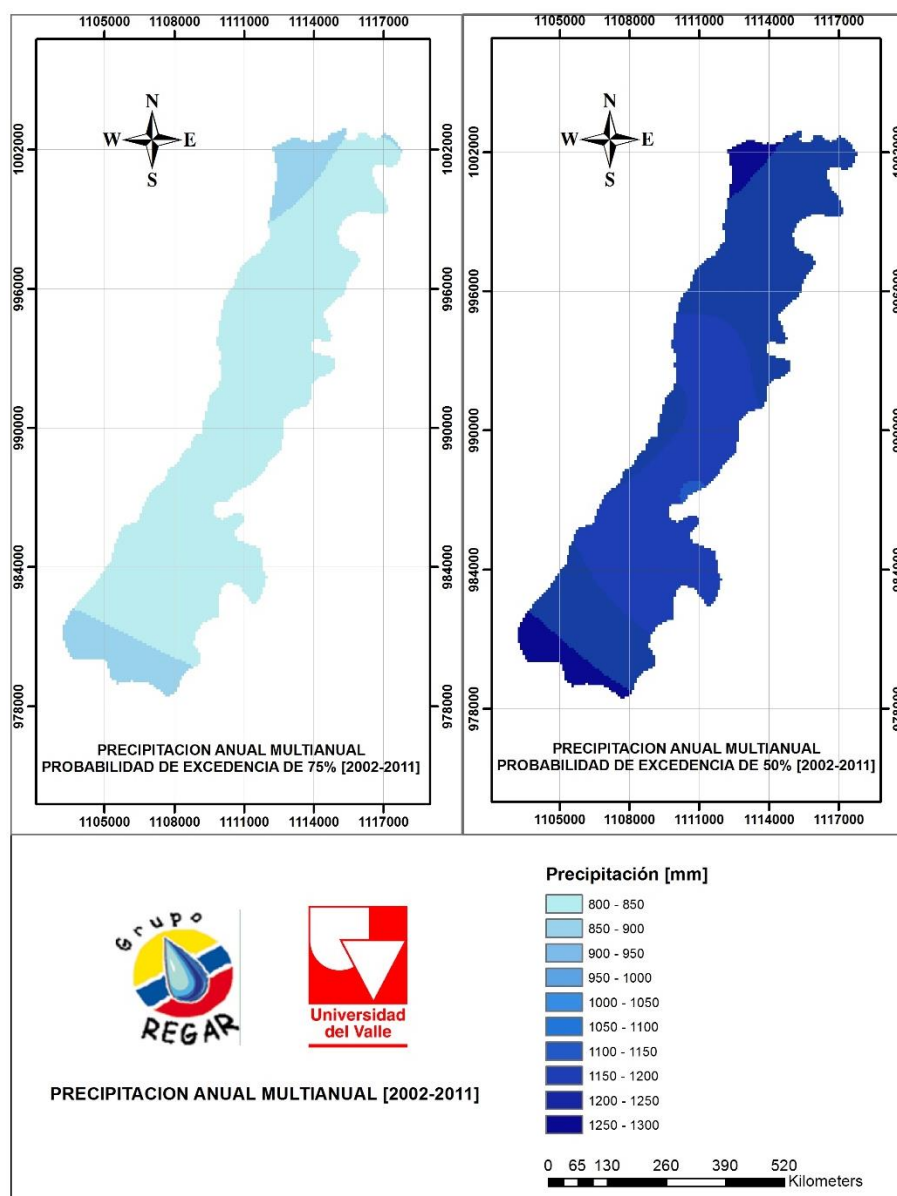


**Figura 13. Mapa de Precipitación (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 75%]**

### 5.7.3.3 Precipitación [Anual]

Se permite apreciar una precipitación bimodal con poca variación espacial y una variación temporal media. En la zona del centro del distrito se tienden a presentar

las menores precipitaciones para los dos escenarios, para el primer escenario critico (75%) los valores oscilan entre 800 y 900 mm/año, y para un escenario medio (50%) estos valores se encuentran los entre los 1100 mm y los 1300 mm.

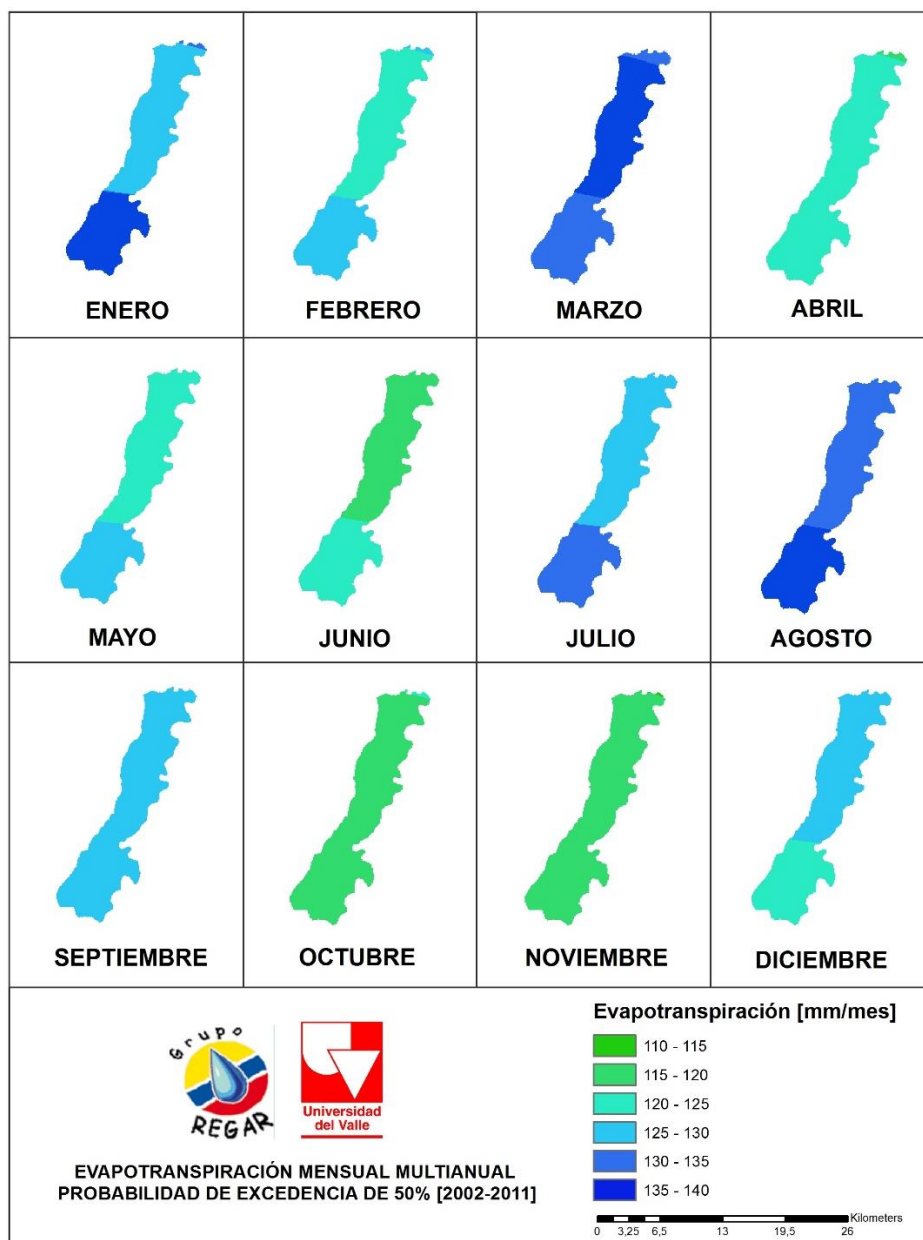


**Figura 14. Mapa de Precipitación (mm/año).**

#### 5.7.3.4 Evapotranspiración [Probabilidad de Excedencia 50%]

En el distrito esta variable oscila entre 110 y 140 mm/mes. En los meses de abril, septiembre, octubre y noviembre esta variable no presenta variaciones

representativas, por el contrario para los meses de enero, febrero, marzo, mayo, junio, julio, agosto y diciembre se puede percibir evapotranspiraciones mayores en la zona sur del distrito.

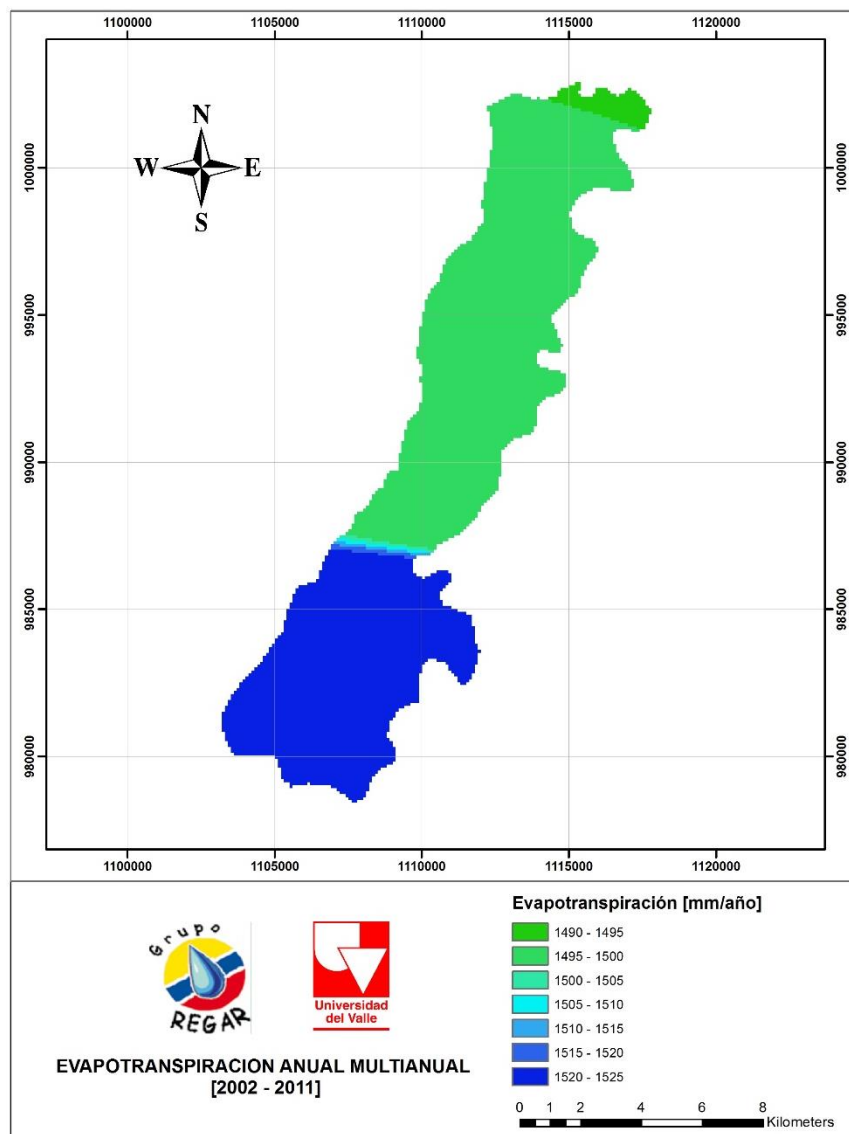


**Figura 15. Mapa de Evapotranspiración (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 50%].**

### 5.7.3.5 Evapotranspiración [Anual]

En el mapa anual se puede apreciar la variación que se presentaba en los mapas mensuales, esta variable oscila entre los 1490 y 1525 mm/año y se puede ver como

aumenta en sentido norte – sur, presentando en el sur las mayores evapotranspiraciones en el año, también permite identificar la poca variación temporal de la variable y la media variación espacial comparándola con la precipitación.

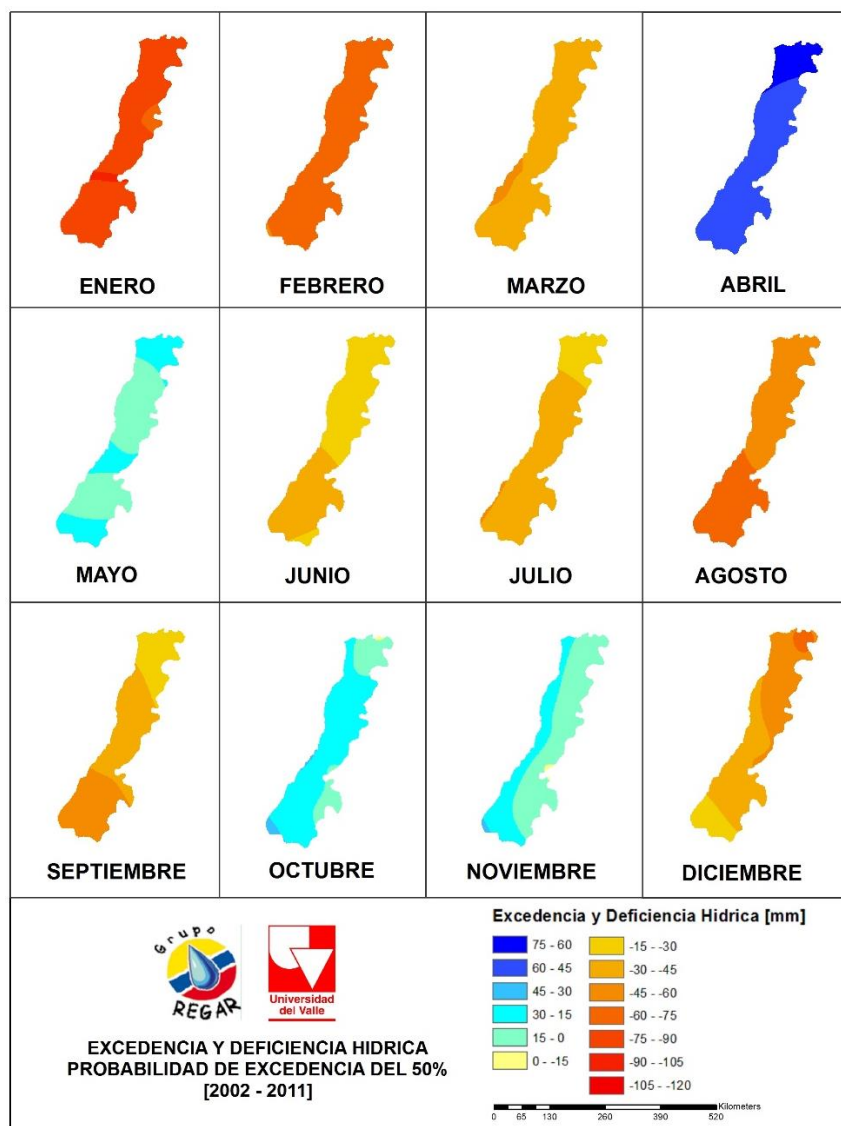


**Figura 16. Mapa de Evapotranspiración (mm/año) [Probabilidad de Excedencia 50%].**

#### 5.7.3.6 Excedencia y Deficiencia Hídrica [Probabilidad de Excedencia 50%]

Estos mapas permiten entender el comportamiento del recurso hídrico en la zona, recurso elemental a la hora de evaluar el índice de aridez. En los mapas se puede apreciar que para este escenario con un comportamiento medio los meses de abril,

mayo, octubre y noviembre nos presentan una excedencia hídrica, siendo abril el mes con mayores excedencias del año, los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre son aquellos con deficiencias del recurso. Los meses más críticos para este escenario son los primeros del año, enero y febrero.

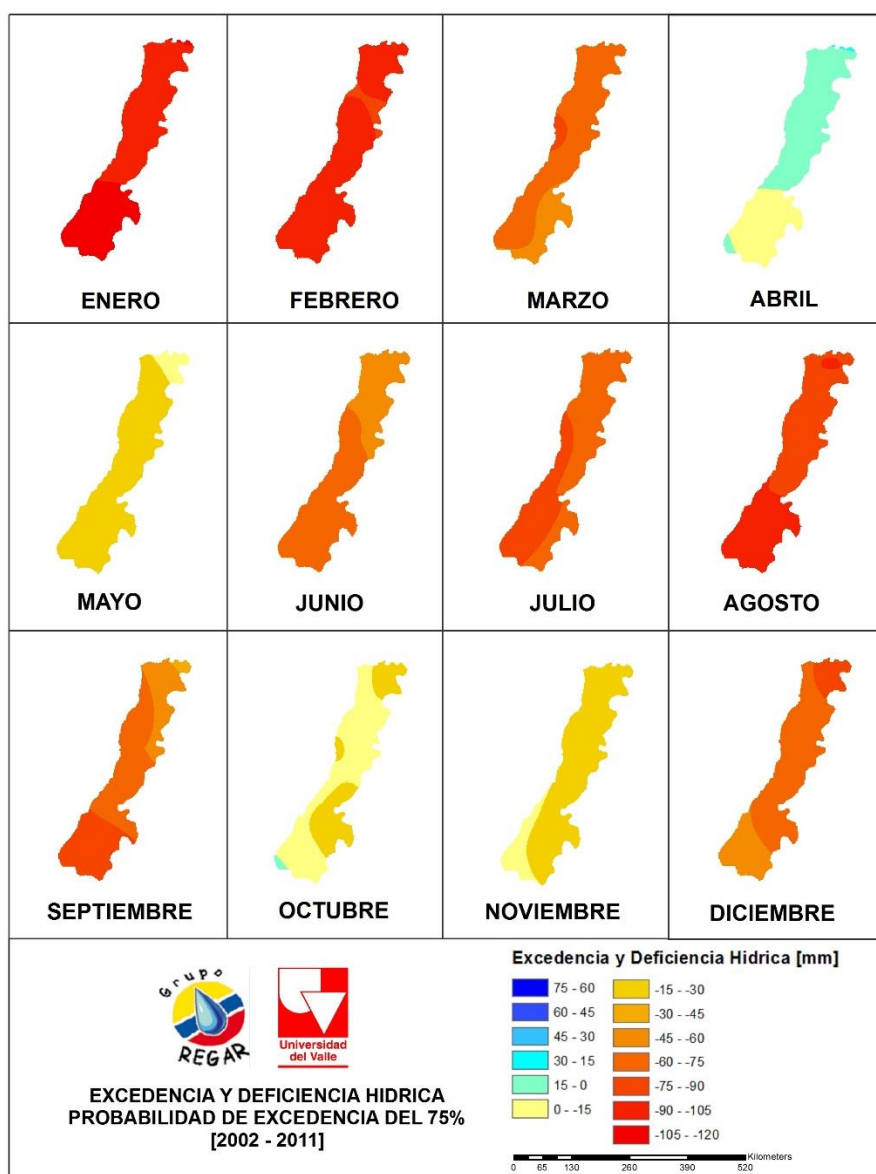


**Figura 17. Mapa de Excedencia y Deficiencia Hídrica (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 50%].**

#### 5.7.3.7 Excedencia y Deficiencia Hídrica [Probabilidad de Excedencia 75%]

Para este escenario crítico el mes de abril es el único que presenta excedencias considerables, ya que el mes octubre presenta excedencias pero solo en una

pequeña área en la zona sur – oeste del distrito, los meses con deficiencias más críticas se encuentran en los meses de enero, febrero y agosto.

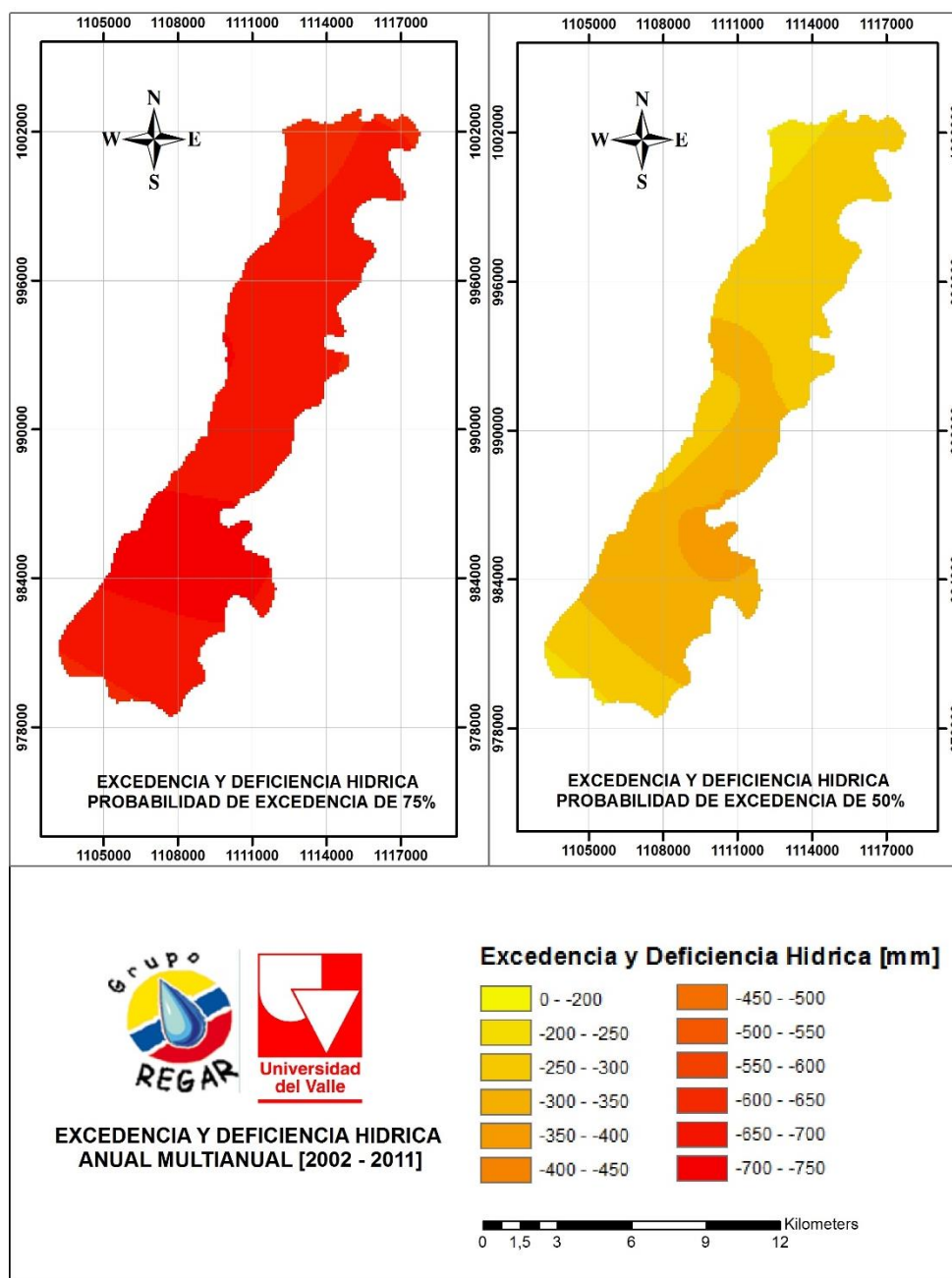


**Figura 18. Mapa de Excedencia y Deficiencia Hídrica (mm/mes) [Probabilidad de Excedencia 75%].**

#### 5.7.3.7 Excedencia y Deficiencia Hídrica [Anual]

En los mapas anuales de excedencias y deficiencias para los dos escenarios (50% y 75%) se observan solo deficiencias del recurso, también se puede apreciar que

para los dos escenarios se registra un aumento de la deficiencia hacia el centro del distrito.

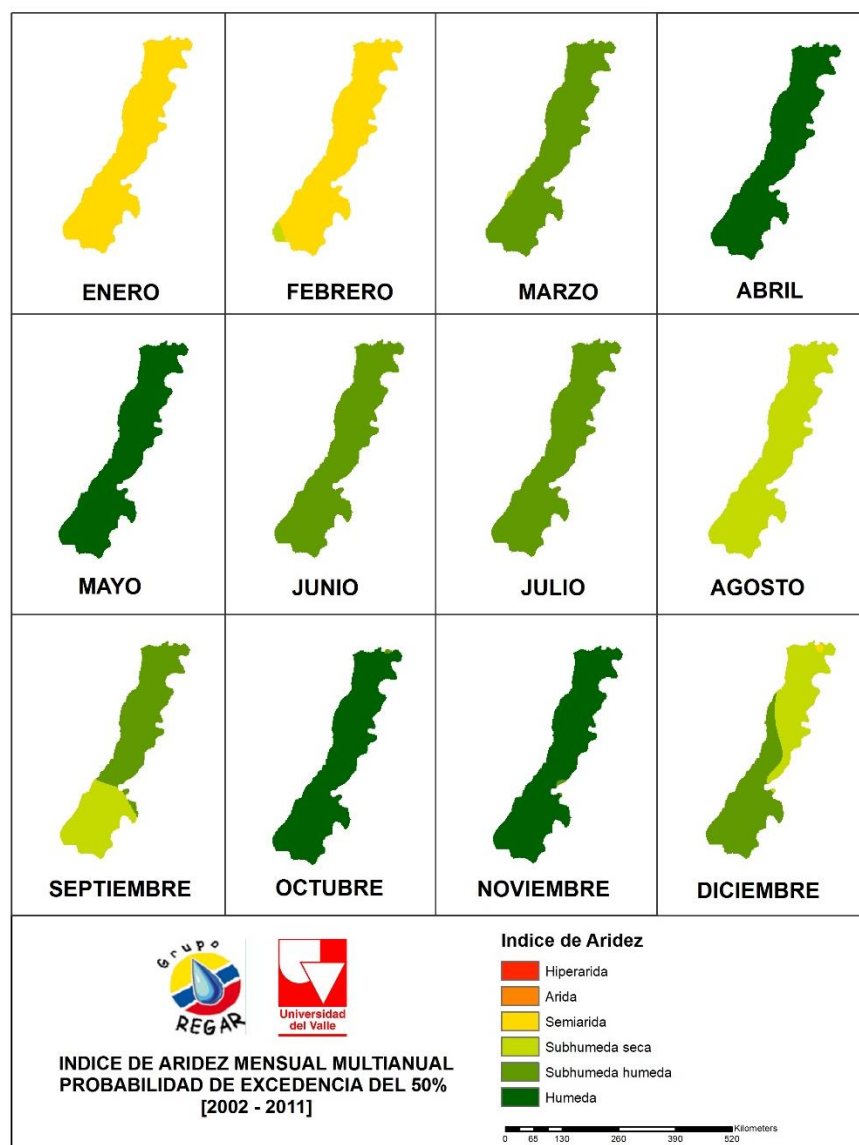


**Figura 19. Mapa de Excedencia y Deficiencia Hídrica (mm/año).**



### 5.7.3.8 Índice de Aridez [Probabilidad excedencia 50%]

Para un comportamiento medio los mapas presentan variaciones significativas para los meses de septiembre y diciembre. En el mes de septiembre el Distrito es catalogado como subhúmedo seco en la zona sur del mismo y en la zona centro y norte como subhúmedo húmedo, para el mes de diciembre en la zona sur del distrito presenta una clasificación de subhúmedo húmedo y en la parte norte es catalogado como subhúmedo seco.



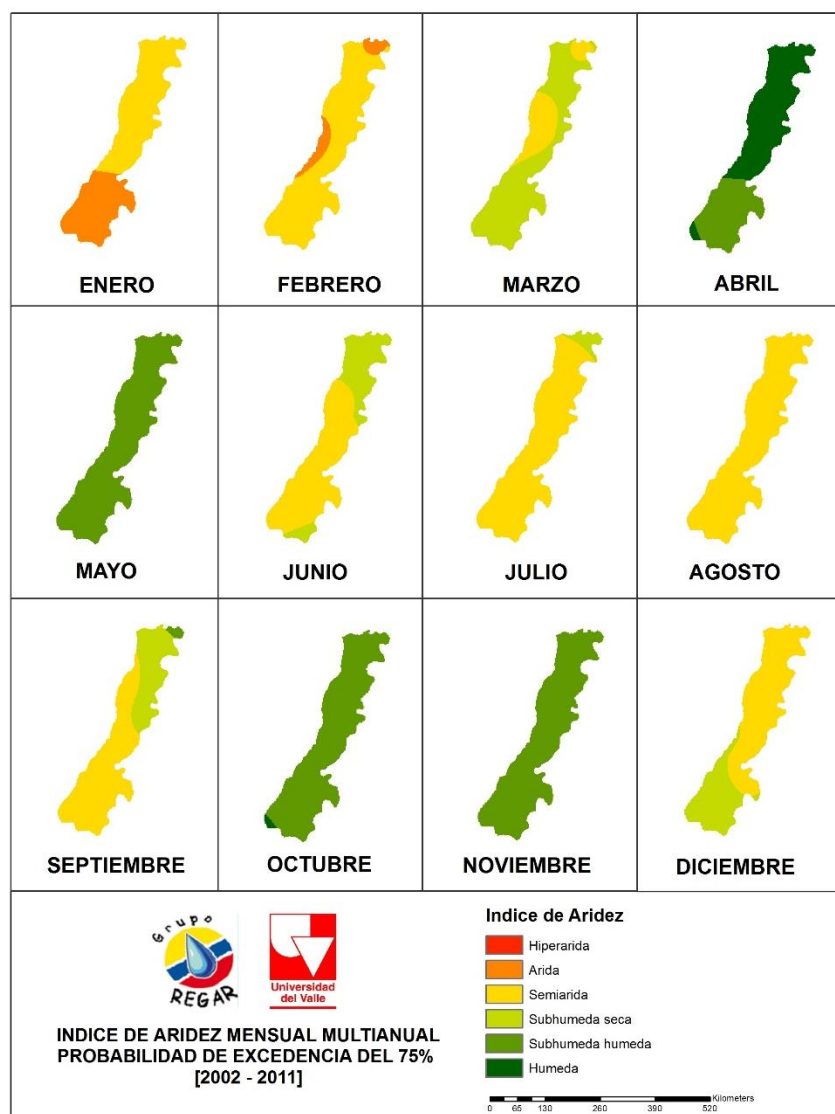
**Figura 20. Mapa de Índice de Aridez [Probabilidad de Excedencia 50%].**



En el mes de enero y febrero el distrito se cataloga como un clima semiárido, para el mes de agosto se clasifica como subhúmedo seco, para los meses de marzo, junio, y julio como subhúmedo húmedo y para los meses de abril, mayo, octubre y noviembre como húmedo.

#### **5.7.3.9 Índice de Aridez [Probabilidad excedencia 75%]**

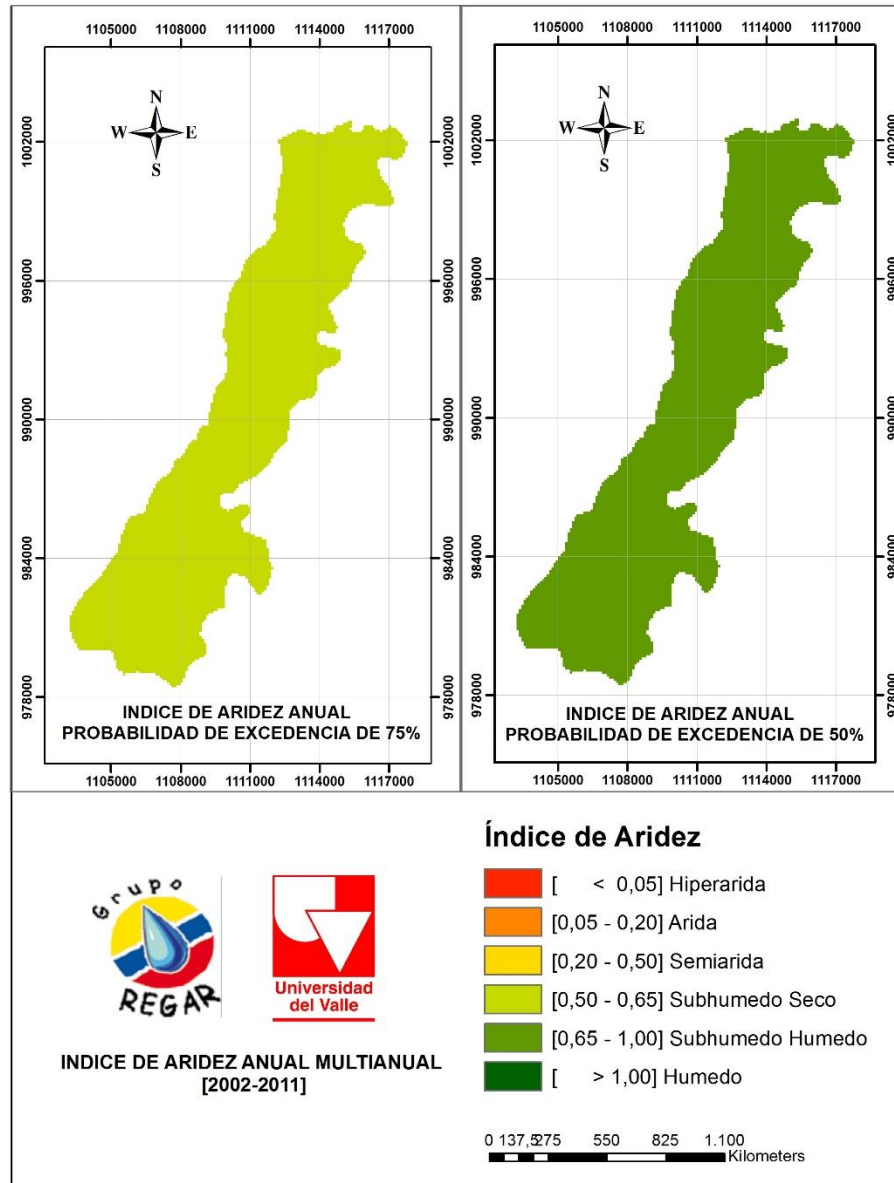
Para este comportamiento crítico el mes de abril se cataloga como clima húmedo en la parte centro y norte y en la parte sur como subhúmedo húmedo y los meses de mayo, octubre y noviembre son catalogados como subhúmedos húmedos y los meses de julio y agosto son catalogados como climas semiáridos en todos últimos meses la variación espacial es nula, por el contrario para los meses de enero, febrero, marzo, junio, septiembre y diciembre presentan variaciones representativas, para el mes de enero en la zona centro y norte del distrito se cataloga como clima semiárido y en la zona sur como clima árido, para el mes de febrero en su mayoría se cataloga como clima semiárido y para dos pequeñas áreas una al centro – oeste de la zona y en el noreste se presenta clima árido, para el mes de marzo en su mayoría se presenta clasificación de clima subhúmedo seco a excepción de dos áreas, una ubicada al centro – oeste y otra en el noreste, zonas catalogadas como clima árido, para el mes de junio y septiembre en su mayor parte es catalogado como clima semiárido aunque en ambos casos en la parte norte se presenta clima subhúmedo seco y finalmente para el mes de diciembre en gran parte del territorio se presenta clima semiárido aunque en el sur el distrito tiene clasificación subhúmedo húmedo.



**Figura 21. Mapa de Índice de Aridez [Probabilidad de Excedencia 75%].**

#### 5.7.3.10 Índice de Aridez anual

En un escenario medio el Distrito es catalogado homogéneamente como clima subhúmedo húmedo y para un escenario crítico cambia su clasificación a clima subhúmedo seco.



**Figura 22. Mapa de Índice de Aridez Anual.**

En ninguno de los dos escenarios el índice varía espacialmente, a nivel mensual se permite apreciar una gran variación temporal como se observa en la Figura 20 y 21.

Si bien en algún momento el distrito sufre unas condiciones climáticas donde las salidas son mayores a las entradas y el distrito llega a ser catalogado como árido y semiárido hay otros meses de lluvia que ayudan a compensar estos meses secos.

Finalmente se ve una compensación entre las entradas y salidas de agua.

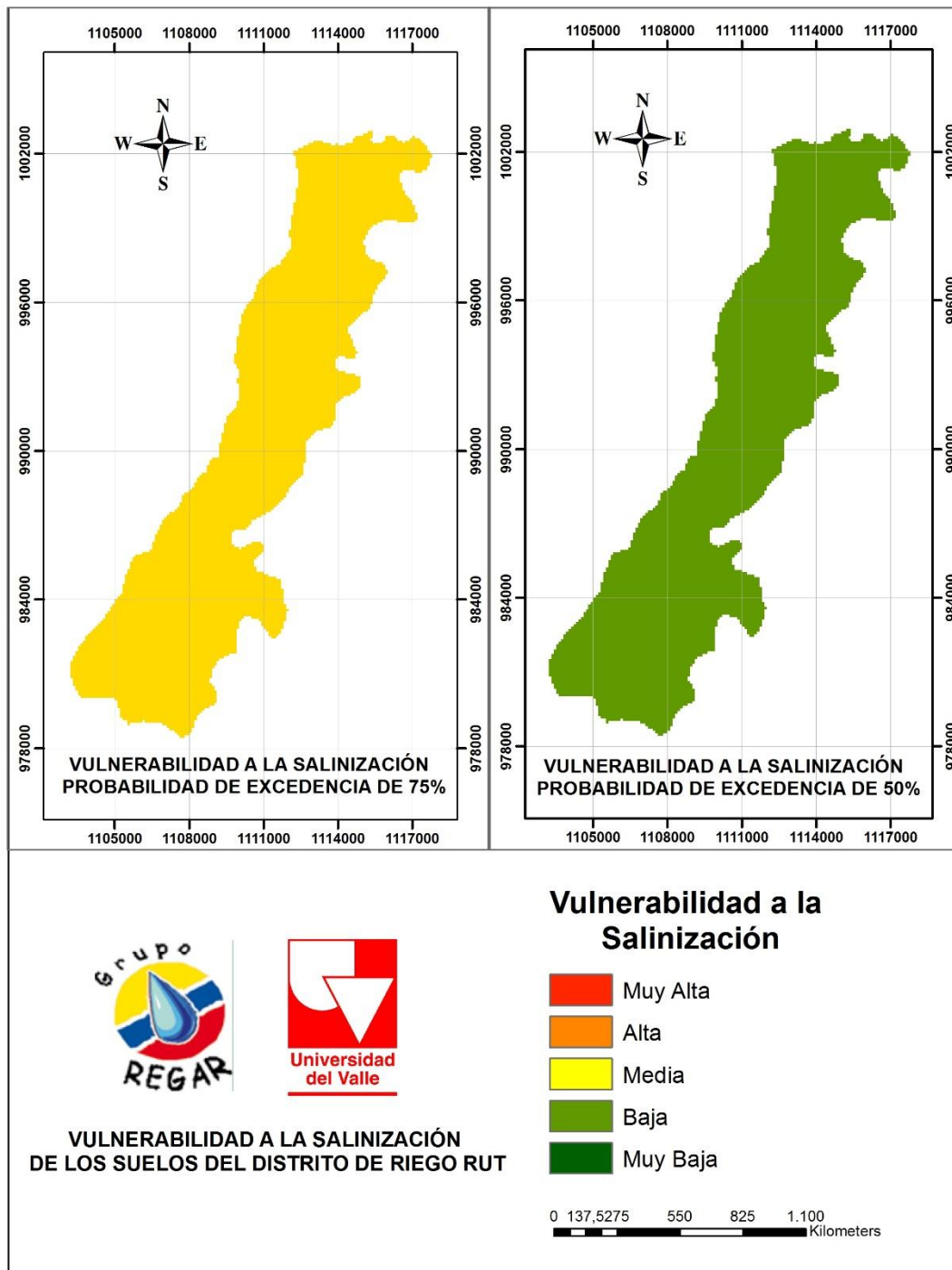
La relación  $P/ET_o$  representa el balance de agua que ocurre en el distrito. Cuando la razón es inferior a 1, indica una vulnerabilidad inminente de los suelos a sufrir problemas de salinidad ya que al haber mayor evapotranspiración hay una mayor concentración de sales que no son diluidas. Cuando se utiliza la Evapotranspiración del cultivo, en cultivos con un  $K_c$  mayor a uno este índice tiende a disminuir y con él aumentar la vulnerabilidad.

Por el contrario, cuando este la relación  $P/ET_o$  es mayor que uno no se presenta vulnerabilidad. A continuación se propone una clasificación adaptando las categorías de IA a la vulnerabilidad (Véase Tabla 4). Esta clasificación permite apreciar la vulnerabilidad a la salinización de los suelos respecto al índice de aridez teniendo como referencia la Tabla 1.

**Tabla 9. Clasificación de la Vulnerabilidad a la Salinización.**

| CLASIFICACIÓN    | INDICE DE ARIDEZ | VULNERABILIDAD A LA SALINIZACIÓN |
|------------------|------------------|----------------------------------|
| Híper-Árido      | < 0,05           | Muy Alta                         |
| Árido            | 0,05 – 0,20      | Alta                             |
| Semiárido        | 0,20 – 0,50      | Media                            |
| Subhúmedo Seco   | 0,50 – 0,65      | Media                            |
| Subhúmedo Húmedo | 0,65 – 1,00      | Baja                             |
| Húmedo           | >1               | Muy Baja                         |

Teniendo en cuenta la clasificación anterior, para un escenario medio de precipitación se define una vulnerabilidad **BAJA** y para un escenario crítico de precipitación esta clasificación cambia a una vulnerabilidad a la salinización **MEDIA** como se puede apreciar en la Figura 23.



**Figura 23. Mapa de Vulnerabilidad a la salinización de los suelos [Distrito de Riego RUT].**

## 6. CONCLUSIONES

- El modelo de probabilidad que mejor ajusta con los datos de Precipitación y Evapotranspiración potencial de las estaciones consideradas en el presente estudio fue la Distribución Normal. Este modelo puede ser usado para obtener datos de los parámetros evaluados para distintos periodos de retorno o probabilidades para otros estudios en la zona, por ejemplo, determinación de necesidades hídricas de cultivos y planificación de riego.
- El modelo de semivariograma de mejor ajuste para la espacialización de los datos de precipitación de la zona de estudio resultó ser el Spherical (para Interpolador *Simple Kriging*). En el caso de la Evapotranspiración potencial, se concluyó que para este caso específico, la espacialización debe realizarse a través de un método determinístico como Inverse Distance Weigthed (IDW) dada la baja disponibilidad de estaciones y la mínima variación espacial y temporal del parámetro.
- Dados los valores de Índice de Aridez obtenidos, su nula variabilidad espacial y su clasificación como vulnerabilidad Baja (para escenario de precipitación con probabilidad de excedencia de 50%), se concluye que este factor no es el principal aportante a la vulnerabilidad integral de los suelos del RUT a los procesos de salinización. Sin embargo, debe ser tenido en cuenta, pues para el escenario crítico de precipitación, su calificación aumenta a Media y entra a ser uno de los principales factores. El escenario crítico de precipitación es un escenario posible cuando se presentan los fenómenos extremos asociados a los procesos de cambio climático o a las oscilaciones climáticas naturales. Estos resultados entonces, deben ser tenidos en cuenta en el estudio integral de la vulnerabilidad del área de estudio.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mayor densidad y calidad de estaciones meteorológicas que permitan suministrar registros confiables necesarios para obtener mejores resultados en la correlación espacial ya que con ello se puede generar un planeamiento de cultivos y facilitar el cálculo de subíndices de productividad.
- Se sugiera un análisis detallado de los otros posibles factores de vulnerabilidad, Aporte del nivel freático, prácticas de fertilización, manejo del riego y el drenaje y las características intrínsecas del suelo (CE, textura) para finalmente diseñar un plan de manejo del agua y el suelo en función de mitigar, prevenir y recuperar los impactos de la salinización.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Allen, R. Pereira, L. Dirk, R. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje. N° 56, Roma, Italia.
- Arteaga, R. Uriel, O. (Sf). Universidad Autónoma de Querétaro. Probabilidad y estadística. Recurso electrónico disponible en: <http://equipo1probabilidad2011.wikispaces.com/file/view/Distribucion+normal+UNIVERSIDAD+AUTNOM+A+DE+QUERTARO.pptx>.
- Asprilla, A. (Sf). Universidad del Quindío - Uniquindio. Interpolación de alturas en los M.D.E. Recurso electrónico disponible en: <http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/ntic/trabajos/4/c4g3arcindo/pagina/intetrpolacionmde.htm>
- Bargaoui, Z. Chebbi, A. (2009). Comparison of Two Kriging Interpolation Methods Applied to Spatiotemporal Rainfall. *Journal of Hydrology* 365(1-2): 56–73.
- Barros, F. (2002). Escuela de ingeniería de Antioquia. Distribuciones de probabilidad en hidrología. Recurso electrónico disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidrologiai/probabilidad/probabilidad.htm>
- Boquero, O. (2010). Introducción SIG - Notas de clase. Cali, Colombia.
- Bostan, P. Heuvelink, G. Akyurek, S. (2012). Comparison of Regression and Kriging Techniques for Mapping the Average Annual Precipitation of Turkey. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 19(1): 115–26.
- Castro, L; Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Ingeniería de recursos naturales y del ambiente. Volumen 9. 15 – 26
- Di Piazza, A. Lo Conti, F. Noto, L. Viola, F. La Loggia, G. (2011). Comparative Analysis of Different Techniques for Spatial Interpolation of Rainfall Data to Create a Serially Complete Monthly Time Series of Precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13(3): 396–408.



- Dodson, R. Turner, D. (1996). Using gis to enable diagnostic interaction with a spatially distributed biogeochemistry model. Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. New Mexico, USA.
- Doménech, X. Peral, J. (2006). Química Ambiental de sistemas terrestres. Editorial Reverté. España. 239p.
- Dossman, C. Norberto, U. (2007). Una visión moderna para el manejo del distrito de riego RUT. 16p.
- Englund, E. Sparks, A. (1988). Geostatistical environmental assessment software users guide. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development. Las Vegas, Estados Unidos.
- ESRI. (2014). ArcGIS Resource Center. Desktop 10.2 Recurso electrónico disponible en: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000075000000>.
- FAO (2007). Secuestro de carbono en tierras áridas. Informe sobre recursos mundiales de suelos 102. Roma, Italia. Recurso Electrónico disponible en: <http://www.fao.org/3/a-y5738s.pdf>
- FAO (1997). La agricultura y los cambios climáticos: la función de la FAO. Recurso electrónico disponible en: <http://www.fao.org/noticias/1997/971201-s.htm>
- García, M. Piñeros, A. Bernal, F. Ardila, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Revista de Ingeniería. Volumen 36. 60 – 64.
- García, M. (2007). Régimen e índice de aridez en Colombia: Participación de Colombia en el proyecto regional del mapa de zonas áridas. Tesis de Maestría, Universidad del valle. Cali, Colombia. 109p.
- Hassan H, and H. E. Dregne. (1997). Natural Habitats and Ecosystems Management in Drylands: an overview. Natural Habitats and Ecosystems Management Series. Environment Department Papers. Washington DC. The World Bank.

- Huxman, T. Wilcox, B. Breshears, D. Scott, R. Snyder, K. Small, E. Hultine, K. Pockman, W. Jackson, R. (2005). Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology* 86.
- Jiménez, H. (1992). Hidrología básica I. Universidad del valle. Cali, Colombia. 187p.
- Lemmo, A. (2009). Diseño e implementación de un SIG para datos geofísicos en áreas piloto al noreste del estado falcón. Tesis Pregrado, Universidad Simon Bolívar. Miranda, Venezuela. 108p
- Li, X. Gemmer, M. Zhai, J. Liu, X. Su, B. Wang, Y. (2013). Spatio-Temporal Variation of Actual Evapotranspiration in the Haihe River Basin of the Past 50 Years. *Quaternary International* 304: 133–41.
- Monsalve, German. (1995). Hidrología en la ingeniería. Escuela colombiana de ingeniería. Bogotá, Colombia. 358p.
- Montealegre, F. (Sf). Universidad Nacional de Colombia - Unal. Curso básico de meteorología y climatología. Recurso electrónico disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/index.html>
- Moreno, Adriana. (2013). Caracterización climática y cálculo de necesidades de riego para el cultivo de maracuyá (*passiflora edulis*) en la zona de influencia del distrito de riego RUT. Tesis Pregrado, Universidad del Valle. Cali, Colombia. 131p.
- Muñoz, F. Arroyo, I. Bravo, L. Llinas, H. (2014). Distribuciones de poisson y Gamma: Una discreta y continua Relación. *Prospectiva: una nueva visión para la ingeniería*. Volumen 12. 99 – 107.
- Ortega-Gaucin, D. (2012). Sequía en Nuevo León: Vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación. Instituto del agua del estado de Nuevo León. Apodaca, Nuevo León. 222p.
- Parra, M. Fernandez, R. Navarro, C. Arquero, O. (2002). Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Mundi-Prensa Libros. Madrid. 256p.
- PUND. (2010). Proyecto de integración de riesgos y oportunidades del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo y en la programación de país

de las Naciones Unidas. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, PNUD. Bogotá, Colombia. Recurso Electrónico disponible en:

[http://www.pnud.org.co/img\\_upload/61626461626434343535373737353535/Brchure%20resumen%20Proyecto.pdf](http://www.pnud.org.co/img_upload/61626461626434343535373737353535/Brchure%20resumen%20Proyecto.pdf)

- Poulsen, L. Abraham, E. Bašić, F. Belhouchette, H. Dascal, G. Lima, J. Francisco, H. Getnet, A. Navarro, A. Rakoid, O. Mary Seely, M. Sokolovska, M. Tallis, H. Vrščaj, B. Yang, X. Yatsukhna, V. (2013). Costs and Benefits of Policies and Practices Addressing Land Degradation and Drought in the Drylands. White paper II. UNCCD 2nd Scientific Conference. Germany, Boon. Recurso electrónico disponible en: [http://2sc.unccd.int/fileadmin/unccd/upload/documents/WhitePapers/White\\_Paper\\_2.pdf](http://2sc.unccd.int/fileadmin/unccd/upload/documents/WhitePapers/White_Paper_2.pdf)
- Raziei, T. Pereira, L. (2013). Spatial Variability Analysis of Reference Evapotranspiration in Iran Utilizing Fine Resolution Gridded Datasets. *Agricultural Water Management* 126. Elsevier B.V.: 104–18.
- Rivano, F. (2004). Análisis de eventos extremos de precipitación y su efecto en el diseño de drenaje superficial de tierras agrícolas del sur de Chile. Tesis de Pregrado, Universidad austral de Chile. Valdivia, Chile. 107p.
- Rodriguez, M. Cortez, A. Parra, R. (2007). Los sistemas de información geográfica aplicados a la climatología. CENIAP. Vol 13. Aragua, Venezuela.
- Rosin, P. Rammler, E. (1993). The laws Governing the fineness of Powdered Coal. *Journal of the institute of Fuel* 7. 29 – 36.
- Royo, L. (2012). Modelos de superficie. Interpolaciones. Recurso Electrónico disponible en: <http://inisig.com/modelos-de-superficie- interpolaciones-2/>
- Sabogal, N. (1985). Manual del observador meteorológico. Estación climatológica. HIMAT.
- Skujins, J. (1991). Semi-arid land and deserts: soil resource and reclamation. Marcel Dekker Inc. New York, EE.UU.
- Suarez, J. (Sf). Universidad Nacional de Colombia - Unal. Introducción a la teoría de probabilidades. Manizales, Colombia.

- Tang, B. Tong, L. Kang, S. Zhang, L. (2011). Impacts of Climate Variability on Reference Evapotranspiration over 58 Years in the Haihe River Basin of North China. *Agricultural Water Management* 98(10): 1660–70.
- Universidad de Alcalá - uah. (Sf). Departamento de geología, geografía y medio ambiente. Introducción a los Sig. Madrid. Recurso electrónico disponible en: [http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST\\_Vector.htm](http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST_Vector.htm)
- Universidad Politécnica de Cartagena – upct (Sf). Integración de máquinas medidoras por coordenadas en entornos CAD/CAM. Recurso electrónico disponible en: [http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/146/15/12\\_Interpolacion.pdf](http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/146/15/12_Interpolacion.pdf)
- Urrutia, N. (2006). Sustainable Management after Irrigation System transfer. Experiences in Colombia. The RUT Irrigation District. A.A. Balkema Publisher, Taylor & Francis Group plc, London.

URL 1 [http://www.meteochile.gob.cl/inst\\_convencional.php](http://www.meteochile.gob.cl/inst_convencional.php) [Dirección Meteorológica de Chile]

URL 2 <http://www.orsi.jcyl.es/web/jcyl/ORSI/es/Plantilla100DetalleFeed/1262860952313/Publicacion/1226327632589/Redaccion> [observatorio regional de la sociedad de la información]

URL 3 <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//0057000000mr000000> [Centro de recursos ArcGIS]

URL 4 [http://docsetools.com/articulos-enciclopedicos/article\\_93466.html](http://docsetools.com/articulos-enciclopedicos/article_93466.html)

# ANEXOS

## ANEXO A. ANALISIS EXPLORATORIO Y CONFIRMATORIO DE DATOS

### Análisis Grafico

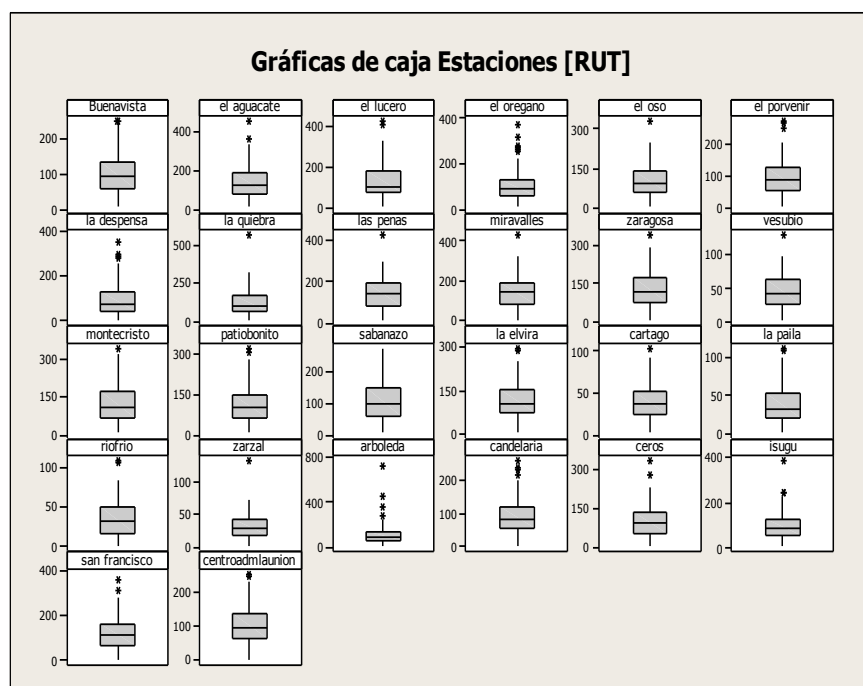


Figura A. Graficas de caja estaciones RUT

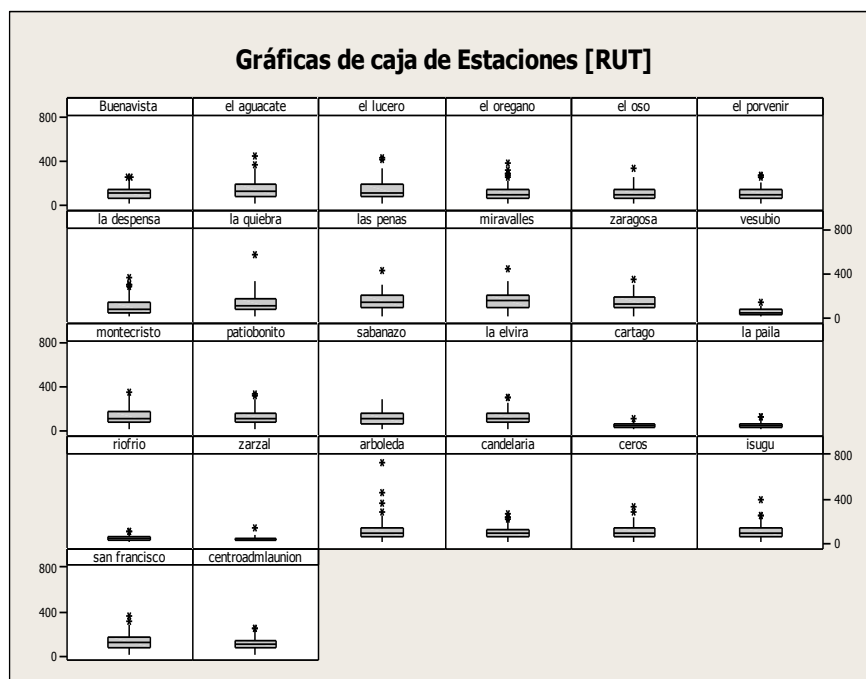


Figura B. Graficas de caja estaciones RUT en la misma escala numérica

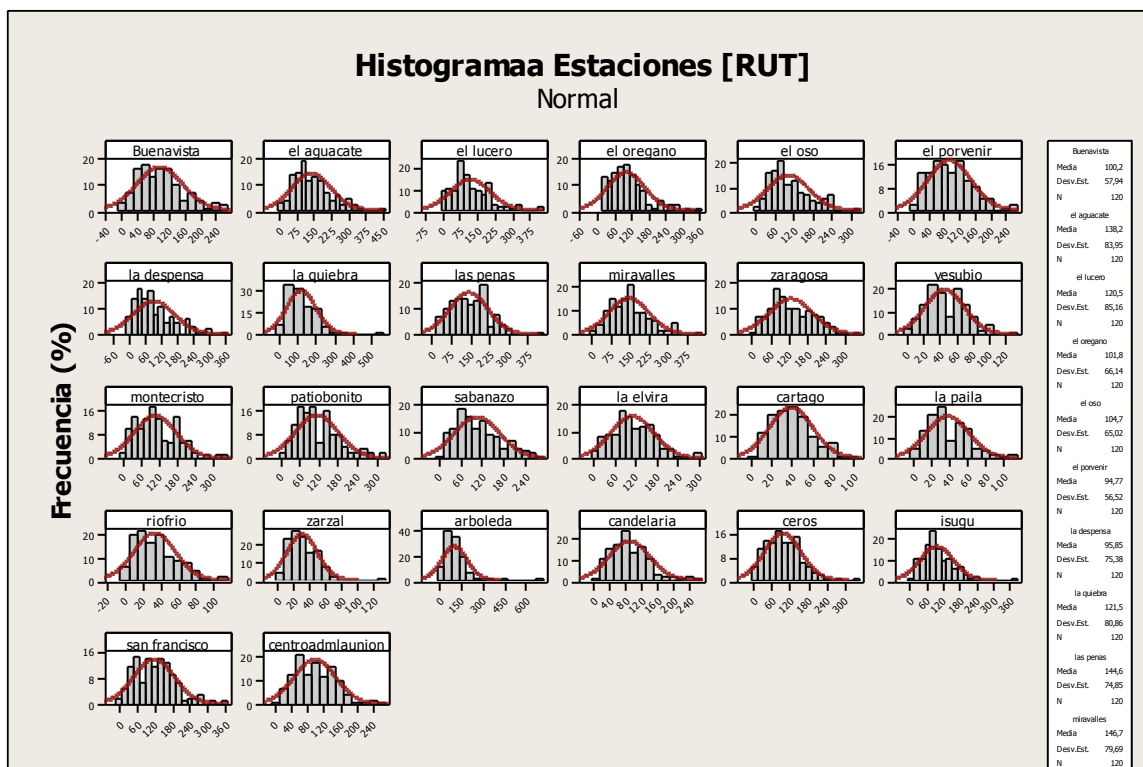


Figura C. Histogramas estaciones RUT

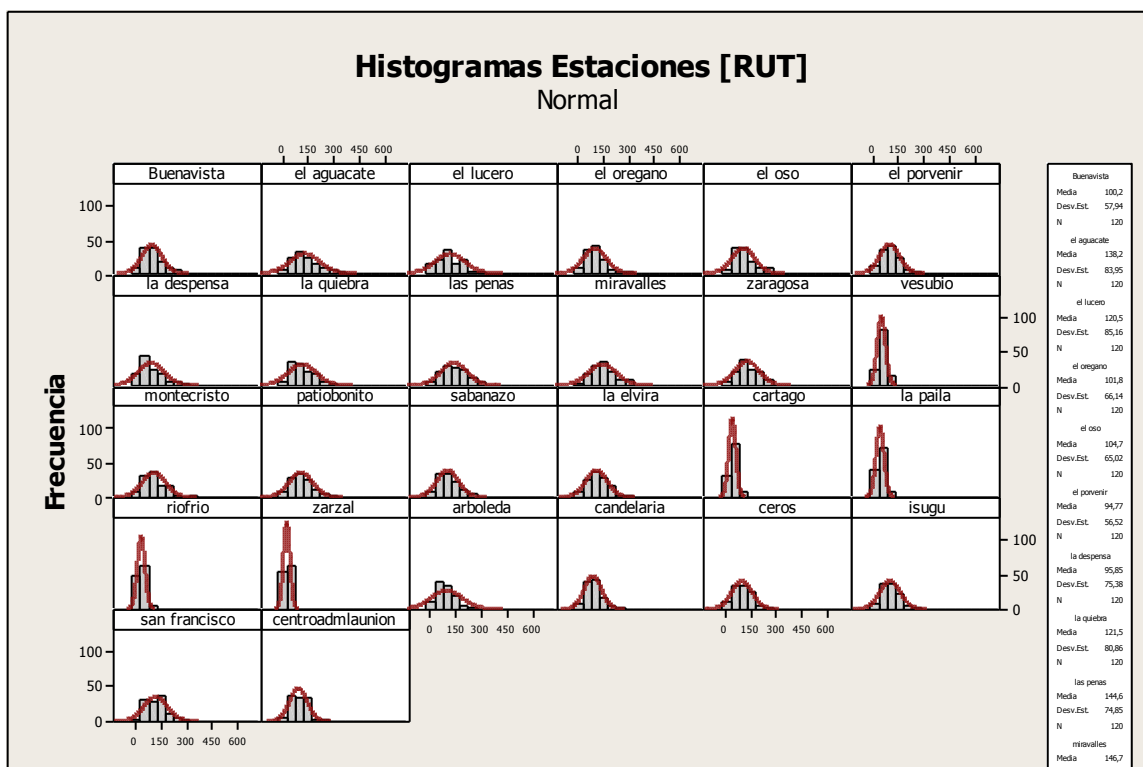
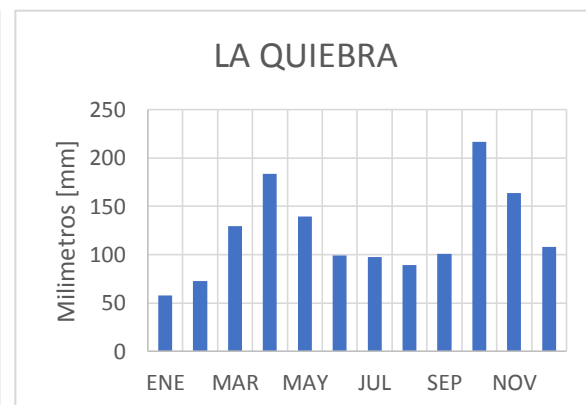
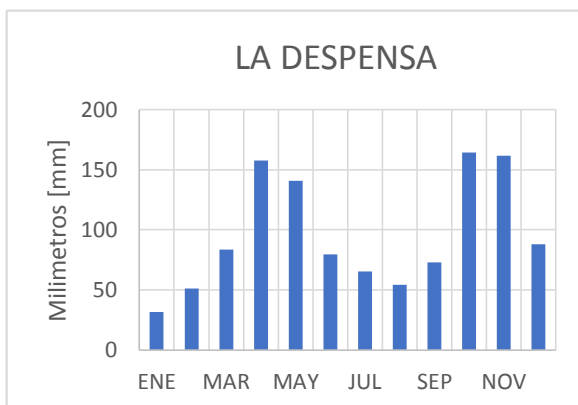
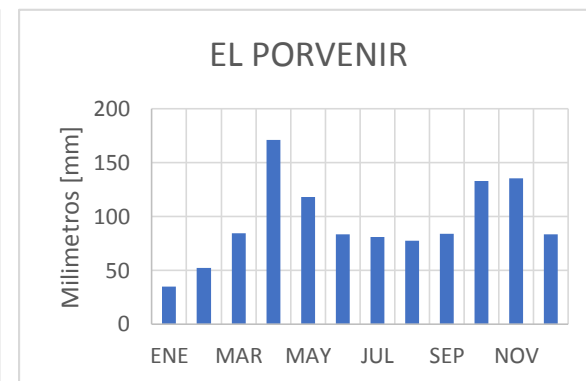
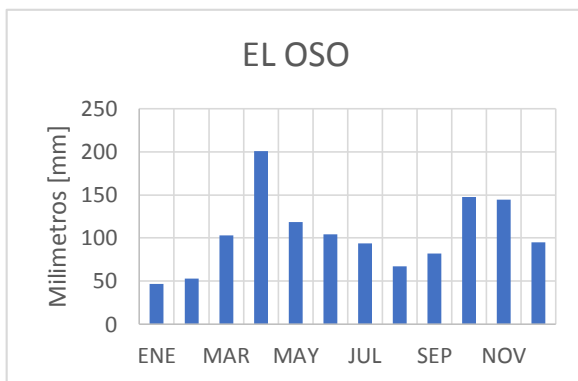
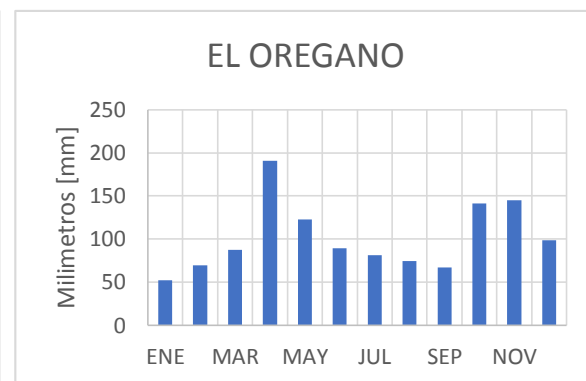
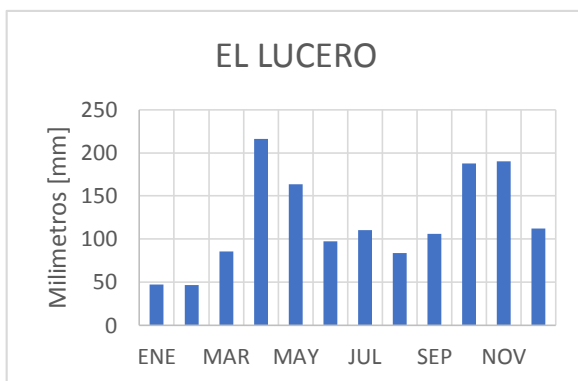
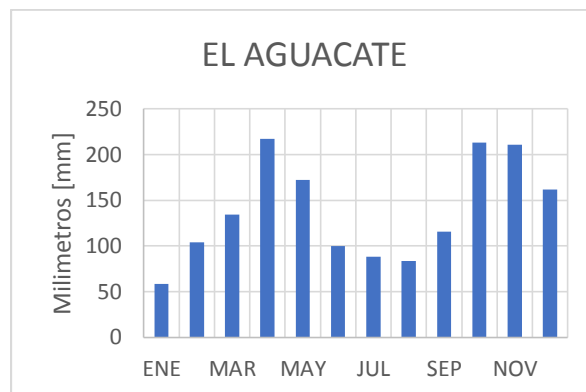
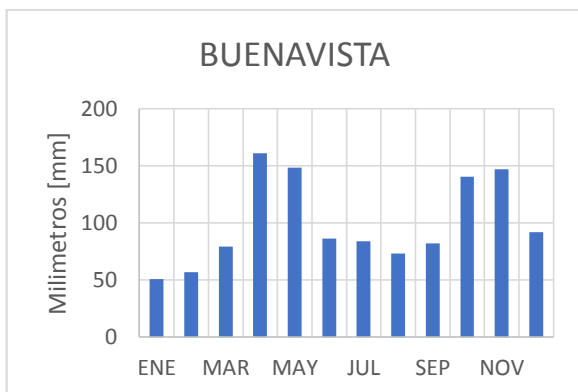
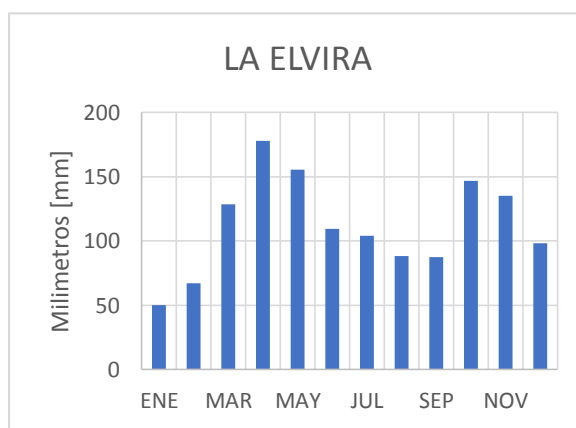
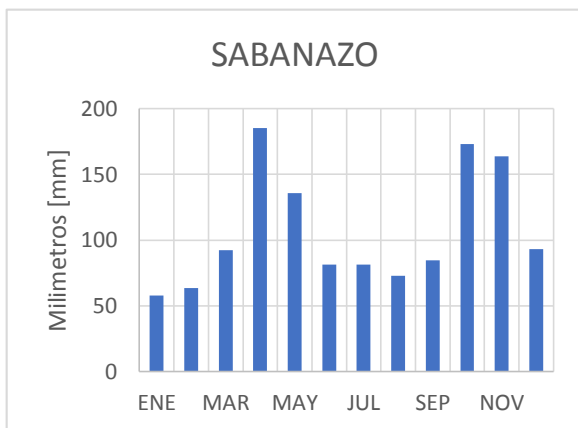
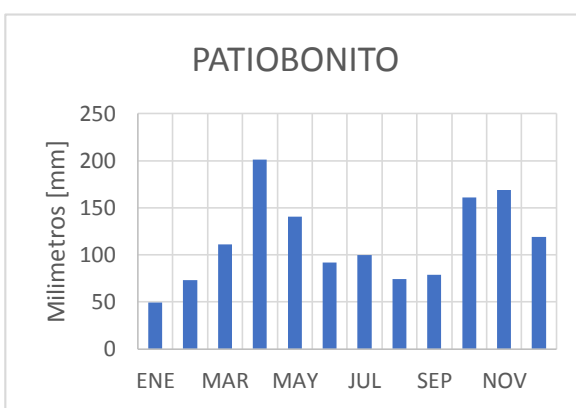
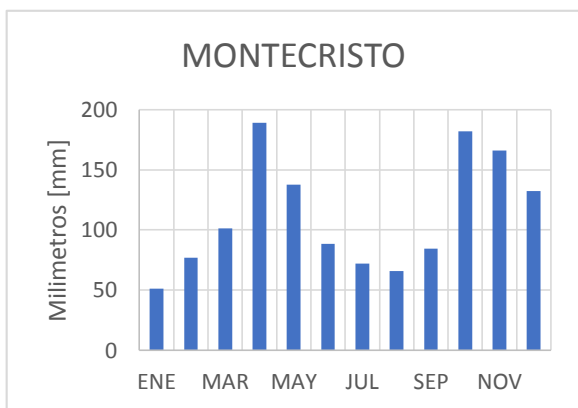
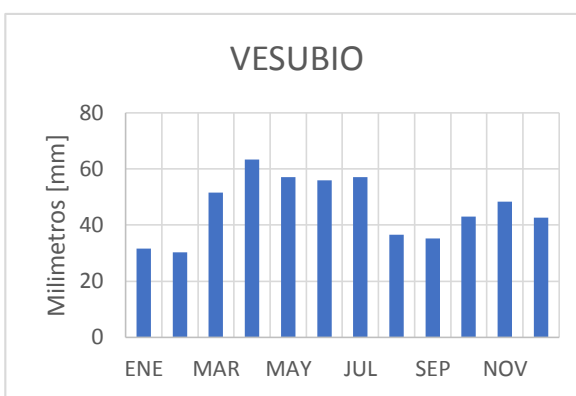
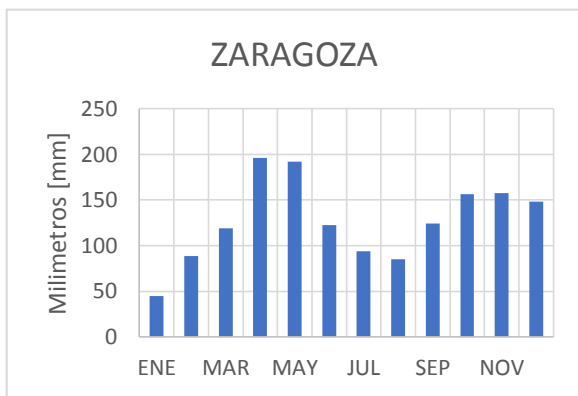
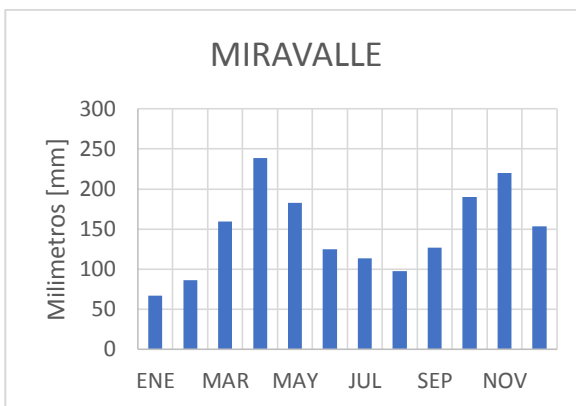
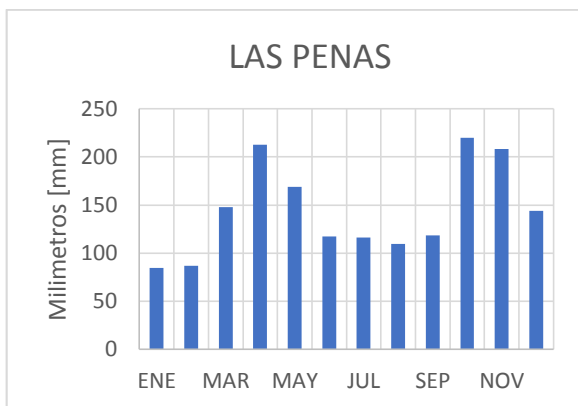
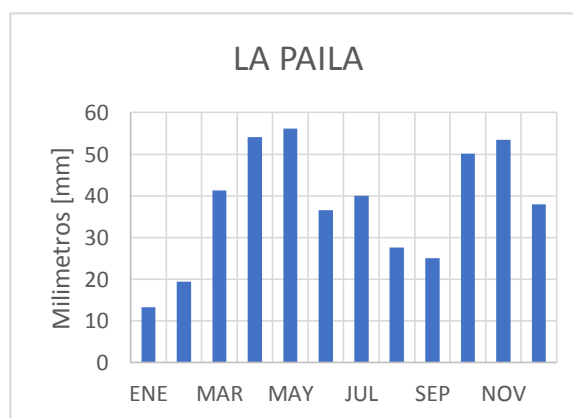
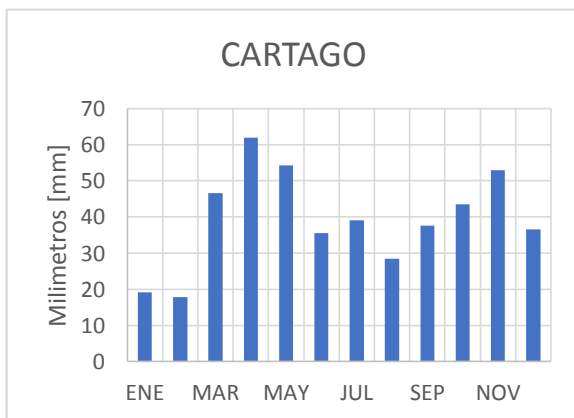
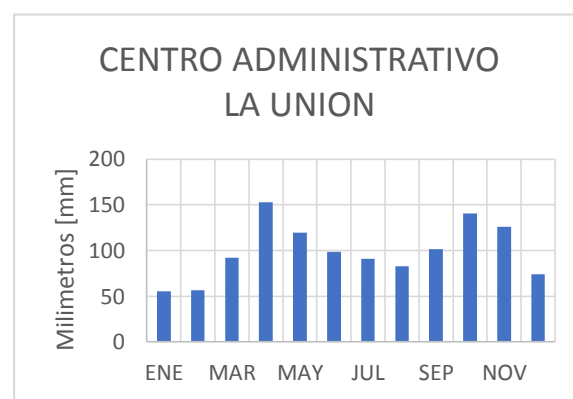
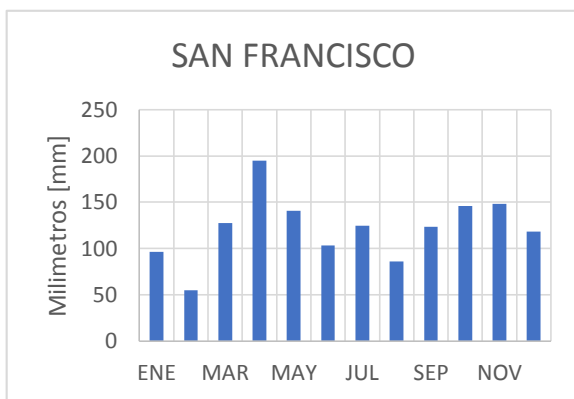
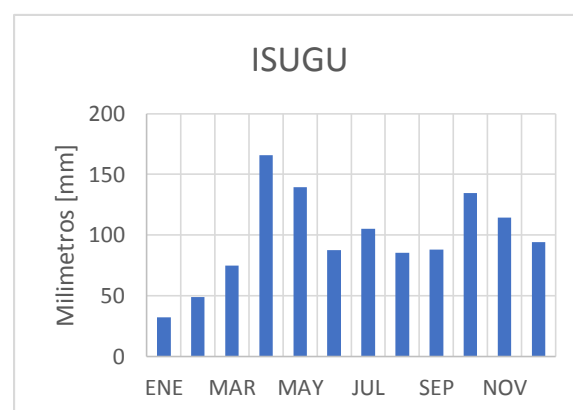
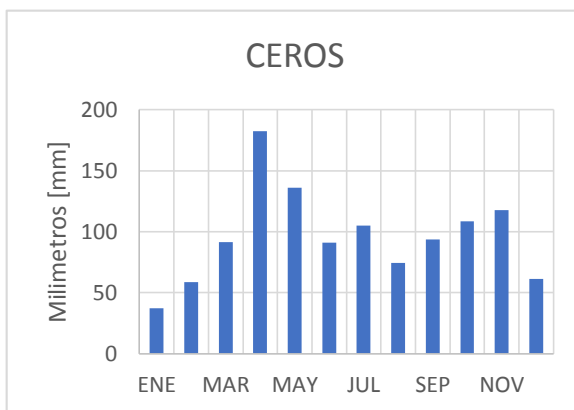
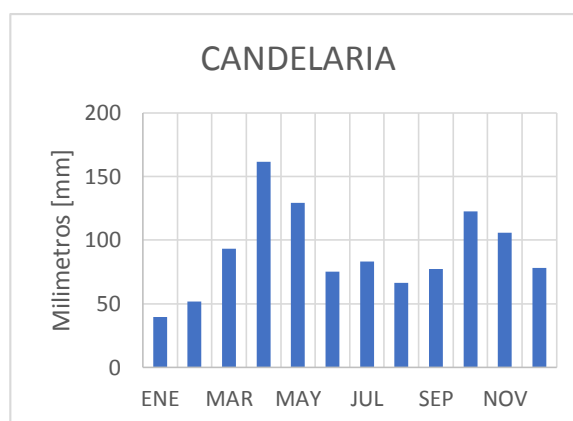
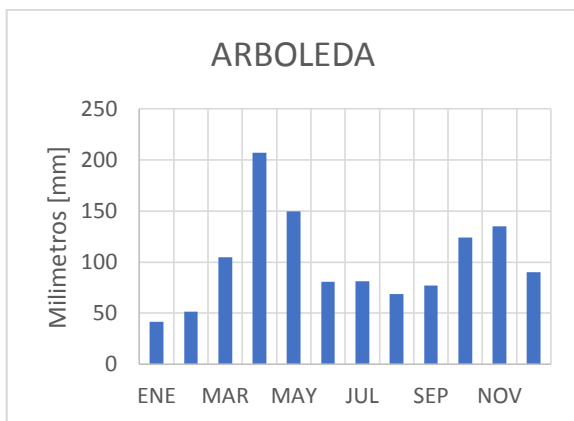


Figura D. Histogramas estaciones RUT en la misma escala numérica









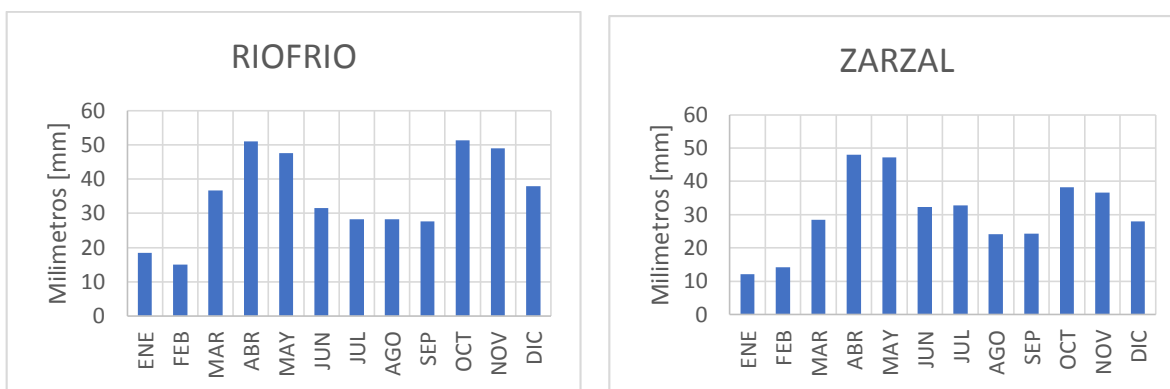


Figura E. Diagrama de barras de series de tiempo [Estaciones de precipitación Distrito de Riego RUT]

## Análisis Descriptivo Numérico

Tabla A. Resultados de los parámetros estadísticos de tendencias centrales para precipitación.

| Estación    | Mínimo | Máximo | Media  | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Kurtosis |
|-------------|--------|--------|--------|---------------------|---------------------------|----------|
| BUENAVISTA  | 6      | 250    | 100,15 | 57,938              | 57,85                     | ,004     |
| EL AGUACATE | 8      | 447    | 138,24 | 83,950              | 60,73                     | ,794     |
| EL LUCERO   | 0      | 426    | 120,54 | 85,158              | 70,65                     | 1,479    |
| EL ORÉGANO  | 10     | 368    | 101,75 | 66,142              | 65,00                     | 2,418    |
| EL OSO      | 0      | 328    | 104,72 | 65,014              | 62,09                     | ,395     |
| EL PORVENIR | 3      | 268    | 94,78  | 56,518              | 59,63                     | ,301     |
| LA DESPENSA | 0      | 353    | 95,85  | 75,376              | 78,64                     | ,778     |
| LA QUIEBRA  | 6      | 569    | 121,47 | 80,856              | 66,57                     | 6,909    |
| LAS PEÑAS   | 13     | 429    | 144,61 | 74,848              | 51,76                     | ,561     |
| MIRAVALLE   | 1      | 432    | 146,70 | 79,692              | 54,32                     | ,661     |
| ZARAGOSA    | 8      | 339    | 127,25 | 70,369              | 55,30                     | -,322    |
| VESUBIO     | 3      | 130    | 46,04  | 24,413              | 53,02                     | ,075     |
| MONTECRISTO | 5      | 342    | 112,27 | 68,790              | 61,27                     | ,477     |
| PATIOBONITO | 5      | 323    | 114,05 | 67,993              | 59,62                     | ,458     |

|             |   |     |        |        |       |        |
|-------------|---|-----|--------|--------|-------|--------|
| SABANAZO    | 5 | 273 | 107,06 | 62,704 | 58,57 | -,314  |
| LA ELVIRA   | 1 | 298 | 112,45 | 61,619 | 54,80 | ,034   |
| CARTAGO     | 3 | 104 | 39,49  | 21,228 | 53,75 | ,046   |
| LA PAILA    | 0 | 113 | 37,98  | 23,582 | 62,09 | ,563   |
| RIOFRIO     | 0 | 109 | 35,28  | 23,014 | 65,24 | ,392   |
| ZARZAL      | 1 | 133 | 30,50  | 19,211 | 62,99 | 5,435  |
| ARBOLEDA    | 1 | 722 | 101,01 | 89,436 | 88,54 | 20,547 |
| CANDERLARIA | 0 | 259 | 90,30  | 50,749 | 56,20 | ,944   |
| CEROS       | 1 | 332 | 96,43  | 59,901 | 62,12 | 1,485  |
| ISUGU       | 8 | 385 | 97,58  | 59,322 | 60,79 | 3,719  |
| S.FRANCISCO | 2 | 359 | 121,97 | 69,169 | 56,71 | ,619   |
| C.ADM.UNION | 2 | 251 | 99,42  | 51,086 | 51,39 | ,190   |

*Tablas B. Resultados de los valores máximos reales y teóricos por estación.*

| Valores Extremos |                     |                      |                   |             |     |          |     |  |  |
|------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------|-----|----------|-----|--|--|
| Estación         | Mes, Año Ocurrencia | Valor Máximo Teórico | Valor Máximo Real |             |     |          |     |  |  |
| BUENAVIS TA      | 11, 2010            | 274                  | 250               | EL OSO      | 300 | 04, 2002 | 261 |  |  |
|                  | 10, 2011            |                      | 250               |             |     | 04, 2003 | 328 |  |  |
|                  | 05, 2007            |                      | 245               |             |     | 04, 2004 | 247 |  |  |
|                  | 05, 2011            |                      | 244               |             |     | 11, 2010 | 247 |  |  |
|                  | 04, 2004            |                      | 232               |             |     | 04, 2002 | 240 |  |  |
| EL AGUACATE      | 04, 2011            | 390                  | 447               | EL PORVENIR | 264 | 04, 2011 | 237 |  |  |
|                  | 11, 2010            |                      | 358               |             |     | 04, 2011 | 268 |  |  |
|                  | 02, 2011            |                      | 326               |             |     | 11, 2010 | 264 |  |  |
|                  | 11, 2008            |                      | 313               |             |     | 04, 2008 | 248 |  |  |
|                  | 11, 2011            |                      | 312               |             |     | 04, 2007 | 204 |  |  |
| EL LUCERO        | 04, 2011            | 376                  | 426               | LA DESPENSA | 322 | 10, 2011 | 203 |  |  |
|                  | 11, 2010            |                      | 414               |             |     | 04, 2011 | 353 |  |  |
|                  | 10, 2011            |                      | 330               |             |     | 04, 2007 | 298 |  |  |
|                  | 05, 2006            |                      | 314               |             |     | 05, 2011 | 294 |  |  |
|                  | 07 , 2010           |                      | 314               |             |     | 10, 2003 | 285 |  |  |
| EL OREGANO       | 04, 2010            | 300                  | 368               | LA QUIEBRA  | 364 | 11, 2010 | 255 |  |  |
|                  | 04, 2011            |                      | 316               |             |     | 10, 2004 | 569 |  |  |
|                  | 11, 2010            |                      | 275               |             |     | 11, 2010 | 327 |  |  |
|                  | 12, 2010            |                      | 272               |             |     | 04, 2002 | 323 |  |  |
|                  |                     |                      |                   | LAS PEÑAS   | 369 | 09, 2004 | 288 |  |  |
|                  |                     |                      |                   |             |     | 10, 2011 | 259 |  |  |
|                  |                     |                      |                   |             |     | 11, 2010 | 429 |  |  |
|                  |                     |                      |                   |             |     | 10, 2004 | 299 |  |  |

|             |          |     |     |
|-------------|----------|-----|-----|
|             | 04, 2007 |     | 297 |
|             | 10, 2002 |     | 281 |
|             | 11, 2004 |     | 281 |
| MIRAVALLE   | 04, 2002 |     | 432 |
|             | 12, 2006 |     | 327 |
|             | 10, 2011 | 386 | 324 |
|             | 11, 2008 |     | 319 |
|             | 11, 2010 |     | 318 |
| ZARAGOSA    | 05, 2005 |     | 339 |
|             | 04, 2002 |     | 290 |
|             | 11, 2010 | 338 | 274 |
|             | 09, 2004 |     | 266 |
|             | 05, 2006 |     | 261 |
| VESUBIO     | 04, 2002 |     | 130 |
|             | 04, 2004 |     | 98  |
|             | 06, 2005 | 119 | 95  |
|             | 05, 2007 |     | 95  |
|             | 07, 2007 |     | 95  |
| MONTECRISTO | 04, 2011 |     | 342 |
|             | 11, 2008 |     | 325 |
|             | 12, 2011 | 319 | 286 |
|             | 11, 2006 |     | 236 |
|             | 11, 2010 |     | 232 |
| PATIOBONITO | 11, 2010 |     | 323 |
|             | 04, 2011 |     | 311 |
|             | 11, 2005 | 318 | 283 |
|             | 11, 2008 |     | 282 |
|             | 04, 2002 |     | 254 |
| SABANAZO    | 11, 2010 |     | 273 |
|             | 04, 2007 |     | 263 |
|             | 04, 2002 | 295 | 254 |
|             | 04, 2011 |     | 243 |
|             | 10, 2003 |     | 234 |
| LA ELVIRA   | 04, 2007 |     | 298 |
|             | 04, 2011 |     | 290 |
|             | 05, 2005 | 297 | 252 |
|             | 05, 2007 |     | 240 |
|             | 08, 2007 |     | 221 |
| CARTAGO     | 04, 2011 |     | 104 |
|             | 04, 2010 |     | 93  |
|             | 05, 2005 | 103 | 84  |
|             | 04, 2008 |     | 83  |
|             | 04, 2003 |     | 83  |
| LA PAILA    | 04, 2011 | 109 | 113 |

|                   |          |     |     |
|-------------------|----------|-----|-----|
|                   | 07, 2010 |     | 110 |
|                   | 05, 2007 |     | 100 |
|                   | 11, 2010 |     | 91  |
|                   | 10, 2011 |     | 91  |
| RIOFRIO           | 11, 2010 |     | 109 |
|                   | 04, 2011 |     | 107 |
|                   | 10, 2011 | 104 | 85  |
|                   | 04, 2008 |     | 82  |
|                   | 05, 2011 |     | 82  |
| ZARZAL            | 04, 2011 |     | 133 |
|                   | 05, 2007 |     | 72  |
|                   | 05, 2010 | 88  | 66  |
|                   | 07, 2010 |     | 64  |
|                   | 06, 2009 |     | 63  |
| ARBOLEDA          | 04, 2007 |     | 722 |
|                   | 05, 2007 |     | 448 |
|                   | 03, 2007 | 369 | 357 |
|                   | 11, 2010 |     | 280 |
|                   | 04, 2011 |     | 239 |
| CANDELARIA        | 04, 2008 |     | 259 |
|                   | 04, 2007 |     | 238 |
|                   | 04, 2011 | 243 | 233 |
|                   | 04, 2002 |     | 219 |
|                   | 10, 2005 |     | 199 |
| CEROS             | 04, 2011 |     | 332 |
|                   | 04, 2003 |     | 281 |
|                   | 07, 2010 | 276 | 231 |
|                   | 04, 2004 |     | 228 |
|                   | 11, 2010 |     | 225 |
| ISUGU             | 04, 2011 |     | 385 |
|                   | 05, 2007 |     | 248 |
|                   | 04, 2007 | 276 | 242 |
|                   | 04, 2002 |     | 229 |
|                   | 07, 2010 |     | 201 |
| SAN FRANCISCO     | 01, 2006 |     | 359 |
|                   | 04, 2003 |     | 316 |
|                   | 05, 2006 | 329 | 285 |
|                   | 04, 2007 |     | 276 |
|                   | 12, 2005 |     | 271 |
| CENTRO ADM. UNIÓN | 04, 2007 |     | 251 |
|                   | 11, 2010 |     | 248 |
|                   | 04, 2011 | 253 | 234 |
|                   | 10, 2011 |     | 218 |
|                   | 10, 2010 |     | 198 |

## Pruebas de Normalidad

*Tablas C. Prueba de Normalidad.*

| Estación    | Shapiro-Wilk |                           |
|-------------|--------------|---------------------------|
|             | Estadístico  | Significancia Estadística |
| BUENAVISTA  | ,957         | ,001                      |
| EL AGUACATE | ,947         | ,000                      |
| EL LUCERO   | ,927         | ,000                      |
| EL ORÉGANO  | ,911         | ,000                      |
| EL OSO      | ,935         | ,000                      |
| EL PORVENIR | ,962         | ,002                      |
| LA DESPENSA | ,908         | ,000                      |
| LA QUIEBRA  | ,883         | ,000                      |
| LAS PEÑAS   | ,974         | ,018                      |
| MIRAVALLE   | ,965         | ,003                      |
| ZARAGOSA    | ,971         | ,011                      |
| VESUBIO     | ,974         | ,019                      |
| MONTECRISTO | ,954         | ,000                      |
| PATIOBONITO | ,953         | ,000                      |
| SABANAZO    | ,958         | ,001                      |
| LA ELVIRA   | ,978         | ,050                      |
| CARTAGO     | ,970         | ,009                      |
| LA PAILA    | ,950         | ,000                      |
| RIOFRIO     | ,950         | ,000                      |
| ZARZAL      | ,907         | ,000                      |
| ARBOLEDA    | ,714         | ,000                      |
| CANDERLARIA | ,951         | ,000                      |
| CEROS       | ,953         | ,000                      |
| ISUGU       | ,922         | ,000                      |
| S.FRANCISCO | ,963         | ,002                      |
| C.ADM.UNION | ,972         | ,013                      |

## Análisis Confirmatorio

Tablas D. Análisis Confirmatorio

|    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | ,000 | ,139 | ,874 | ,866 | ,521 | ,150 | ,062 | ,000 | ,000 | ,003 | ,000 | ,251 | ,146 | ,463 | ,090 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,367 | ,231 | ,659 | ,681 | ,012 | ,791 |
| 2  |      | ,073 | ,000 | ,001 | ,000 | ,000 | ,104 | ,272 | ,273 | ,498 | ,000 | ,024 | ,032 | ,005 | ,041 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,228 | ,000 |
| 3  |      |      | ,142 | ,243 | ,041 | ,013 | ,806 | ,005 | ,004 | ,233 | ,000 | ,713 | ,833 | ,417 | ,938 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,027 | ,011 | ,057 | ,064 | ,497 | ,164 |
| 4  |      |      |      | ,750 | ,641 | ,170 | ,049 | ,000 | ,000 | ,003 | ,000 | ,181 | ,125 | ,396 | ,071 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,436 | ,295 | ,758 | ,752 | ,009 | ,653 |
| 5  |      |      |      |      | ,399 | ,097 | ,115 | ,000 | ,000 | ,008 | ,000 | ,396 | ,228 | ,669 | ,171 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,261 | ,180 | ,492 | ,549 | ,031 | ,974 |
| 6  |      |      |      |      |      | ,390 | ,012 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,073 | ,037 | ,177 | ,020 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,763 | ,582 | ,893 | ,773 | ,002 | ,360 |
| 7  |      |      |      |      |      |      | ,003 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,020 | ,009 | ,041 | ,007 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,522 | ,555 | ,336 | ,230 | ,001 | ,093 |
| 8  |      |      |      |      |      |      |      | ,005 | ,005 | ,305 | ,000 | ,507 | ,621 | ,254 | ,750 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,008 | ,003 | ,019 | ,022 | ,663 | ,081 |
| 9  |      |      |      |      |      |      |      |      | ,985 | ,075 | ,000 | ,001 | ,001 | ,000 | ,001 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,012 | ,000 |
| 10 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,074 | ,000 | ,001 | ,001 | ,000 | ,001 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,018 | ,000 |
| 11 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,000 | ,084 | ,125 | ,025 | ,140 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,001 | ,001 | ,532 | ,003 |
| 12 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,041 | ,005 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 |
| 13 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,881 | ,638 | ,770 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,047 | ,020 | ,097 | ,099 | ,266 | ,263 |
| 14 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,483 | ,850 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,022 | ,007 | ,053 | ,063 | ,335 | ,189 |
| 15 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,390 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,113 | ,059 | ,227 | ,262 | ,094 | ,594 |
| 16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,013 | ,003 | ,028 | ,038 | ,402 | ,097 |
| 17 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,432 | ,073 | ,001 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 |
| 18 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,367 | ,017 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 |
| 19 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,158 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 |
| 20 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 |
| 21 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,851 | ,665 | ,569 | ,001 | ,229 |
| 22 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,458 | ,404 | ,000 | ,116 |
| 23 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,919 | ,003 | ,474 |
| 24 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,004 | ,510 |
| 25 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ,014 |
| 26 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

*Tablas E. Estaciones Codificadas*

| <b>CODIGO</b> | <b>ESTACION</b>  |
|---------------|------------------|
| 1             | BUENAVISTA       |
| 2             | EL AGUACATE      |
| 3             | EL LUCERO        |
| 4             | EL OREGANO       |
| 5             | EL OSO           |
| 6             | EL PORVENIR      |
| 7             | LA DESPENSA      |
| 8             | LA QUIEBRA       |
| 9             | LAS PEÑAS        |
| 10            | MIRAVALLE        |
| 11            | ZARAGOSA         |
| 12            | VESUBIO          |
| 13            | MONTECRISTO      |
| 14            | PATIOBONITO      |
| 15            | SABANAZO         |
| 16            | LA ELVIRA        |
| 17            | CARTAGO          |
| 18            | LA PAILA         |
| 19            | RIOFRIO          |
| 20            | ZARZAL           |
| 21            | ARBOLEDA         |
| 22            | CANDELARIA       |
| 23            | CEROS            |
| 24            | ISUGU            |
| 25            | SAN FRANCISCO    |
| 26            | CENTROADMLAUNION |



## ANEXO B. RESULTADOS EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA

*Tablas F. Evapotranspiración de Referencia formula García López.*

| EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA ETO (mm/mes). LA FÓRMULA DE GARCIA LOPEZ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| ESTACION MIRAVALLE                                                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |
| AÑO                                                                       | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV  | DIC   |
| 2002                                                                      | 113,7 | 100,9 | 141,2 | 94,3  | 112,5 | 100,2 | 150,7 | 134,3 | 103,1 | 99,4  | 94,7 | 102,1 |
| 2003                                                                      | 123,2 | 108,5 | 113,0 | 98,3  | 103,9 | 84,0  | 107,1 | 103,4 | 103,8 | 104,3 | 88,9 | 99,7  |
| 2004                                                                      | 104,7 | 111,8 | 123,2 | 110,1 | 89,1  | 102,3 | 97,3  | 121,4 | 89,5  | 87,2  | 90,4 | 102,3 |
| 2005                                                                      | 98,6  | 91,0  | 101,6 | 93,1  | 96,9  | 91,4  | 105,6 | 109,8 | 101,3 | 80,8  | 79,7 | 82,3  |
| 2006                                                                      | 100,5 | 97,2  | 90,8  | 79,0  | 90,7  | 89,5  | 108,5 | 111,2 | 66,6  | 91,8  | 83,9 | 87,6  |
| 2007                                                                      | 101,1 | 119,8 | 88,4  | 85,1  | 114,1 | 87,8  | 103,5 | 78,3  | 89,8  | 85,4  | 88,4 | 93,4  |
| 2008                                                                      | 121,4 | 112,4 | 115,4 | 98,8  | 103,9 | 82,2  | 105,5 | 103,4 | 103,8 | 96,0  | 88,9 | 99,7  |
| 2009                                                                      | 96,9  | 109,1 | 94,8  | 89,4  | 114,1 | 86,3  | 101,0 | 78,3  | 89,8  | 85,4  | 88,4 | 94,7  |
| 2010                                                                      | 109,6 | 97,0  | 106,9 | 89,4  | 93,2  | 82,3  | 80,9  | 91,1  | 85,1  | 85,8  | 73,8 | 88,6  |
| 2011                                                                      | 92,5  | 76,3  | 84,4  | 77,3  | 83,0  | 82,1  | 86,1  | 86,6  | 86,8  | 71,3  | 74,4 | 81,2  |

| ESTACION CARTAGO |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AÑO              | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002             | 139,6 | 129,4 | 147,6 | 121,1 | 124,0 | 112,9 | 134,6 | 152,6 | 140,9 | 146,4 | 125,3 | 149,7 |
| 2003             | 141,4 | 138,6 | 145,4 | 130,4 | 137,2 | 118,2 | 135,7 | 138,5 | 129,7 | 118,2 | 113,4 | 129,7 |
| 2004             | 122,9 | 143,9 | 153,3 | 137,6 | 123,7 | 129,7 | 135,2 | 152,8 | 125,1 | 121,0 | 119,2 | 124,6 |
| 2005             | 133,3 | 132,3 | 133,1 | 133,2 | 128,9 | 129,2 | 144,2 | 145,5 | 142,0 | 128,4 | 124,3 | 134,1 |
| 2006             | 139,8 | 138,7 | 143,2 | 129,6 | 132,1 | 134,2 | 154,1 | 157,3 | 147,7 | 140,1 | 126,1 | 134,0 |
| 2007             | 154,0 | 134,4 | 117,6 | 108,5 | 107,8 | 107,9 | 118,9 | 111,8 | 114,8 | 104,1 | 104,2 | 103,2 |
| 2008             | 114,1 | 109,8 | 117,6 | 109,6 | 111,1 | 104,5 | 110,2 | 110,5 | 108,3 | 109,8 | 103,8 | 111,9 |
| 2009             | 113,2 | 106,1 | 114,6 | 113,1 | 115,6 | 107,1 | 128,8 | 130,4 | 138,4 | 129,9 | 118,8 | 128,1 |
| 2010             | 139,5 | 130,7 | 142,9 | 108,3 | 116,8 | 102,9 | 103,7 | 107,4 | 100,0 | 105,2 | 93,1  | 102,9 |
| 2011             | 119,5 | 103,8 | 112,1 | 99,1  | 110,3 | 106,4 | 112,8 | 120,1 | 112,8 | 101,4 | 113,9 | 133,9 |

| ESTACION LA PAILA |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AÑO               | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002              | 118,4 | 115,1 | 120,8 | 102,0 | 128,8 | 125,9 | 145,9 | 149,2 | 140,5 | 134,1 | 123,3 | 134,1 |
| 2003              | 147,0 | 134,6 | 141,1 | 126,2 | 132,9 | 115,6 | 136,7 | 134,6 | 133,0 | 122,2 | 117,2 | 128,9 |
| 2004              | 131,2 | 141,4 | 152,7 | 120,7 | 123,2 | 128,9 | 131,1 | 145,4 | 126,4 | 119,7 | 119,9 | 128,3 |
| 2005              | 135,7 | 130,1 | 131,7 | 137,3 | 137,0 | 132,1 | 147,8 | 152,0 | 145,9 | 127,6 | 129,6 | 132,7 |
| 2006              | 137,0 | 134,9 | 139,1 | 127,2 | 132,8 | 129,3 | 148,7 | 149,3 | 141,5 | 137,4 | 123,9 | 130,6 |
| 2007              | 152,3 | 142,9 | 141,0 | 129,1 | 128,0 | 129,8 | 141,7 | 131,1 | 126,2 | 115,7 | 115,2 | 112,2 |
| 2008              | 125,8 | 114,8 | 129,0 | 119,6 | 121,7 | 114,6 | 119,6 | 124,1 | 120,2 | 121,6 | 115,3 | 122,7 |
| 2009              | 123,2 | 113,0 | 124,8 | 125,3 | 125,1 | 117,2 | 135,9 | 136,6 | 145,3 | 137,4 | 126,7 | 136,1 |

|      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2010 | 145,9 | 142,6 | 152,7 | 119,7 | 125,8 | 113,2 | 110,8 | 117,8 | 109,4 | 115,1 | 94,6  | 101,8 |
| 2011 | 115,1 | 100,5 | 111,7 | 98,6  | 110,8 | 107,5 | 105,9 | 118,6 | 111,6 | 98,0  | 109,6 | 125,6 |

| ESTACION RIOFRIO |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AÑO              | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002             | 136,6 | 122,6 | 140,1 | 115,4 | 131,2 | 118,5 | 129,8 | 144,2 | 135,5 | 123,0 | 118,0 | 128,5 |
| 2003             | 142,2 | 123,2 | 132,9 | 121,2 | 128,1 | 111,5 | 130,8 | 131,9 | 128,0 | 118,1 | 118,0 | 125,8 |
| 2004             | 123,9 | 132,9 | 144,4 | 122,8 | 125,8 | 127,2 | 135,7 | 151,6 | 129,1 | 119,5 | 123,1 | 125,6 |
| 2005             | 130,6 | 125,9 | 131,9 | 128,4 | 128,2 | 121,8 | 138,1 | 144,1 | 139,6 | 119,9 | 117,9 | 129,0 |
| 2006             | 129,2 | 127,2 | 134,7 | 124,3 | 128,4 | 124,7 | 144,6 | 147,6 | 140,9 | 140,2 | 123,0 | 129,4 |
| 2007             | 146,0 | 137,3 | 134,5 | 126,0 | 127,9 | 128,7 | 142,9 | 134,8 | 135,9 | 123,1 | 125,8 | 122,2 |
| 2008             | 132,8 | 122,6 | 134,3 | 129,5 | 133,3 | 126,0 | 132,4 | 135,9 | 132,9 | 129,0 | 109,4 | 116,8 |
| 2009             | 120,2 | 109,7 | 119,1 | 120,3 | 121,7 | 117,0 | 137,1 | 136,3 | 143,6 | 132,5 | 126,6 | 134,2 |
| 2010             | 144,1 | 131,1 | 141,5 | 114,0 | 124,1 | 113,2 | 112,5 | 119,5 | 108,2 | 115,0 | 104,0 | 110,8 |
| 2011             | 124,1 | 105,9 | 116,6 | 106,0 | 116,1 | 114,0 | 115,4 | 126,3 | 118,4 | 105,0 | 118,3 | 125,9 |

| ESTACION ZARZAL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AÑO             | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002            | 129,9 | 119,0 | 129,0 | 106,8 | 111,3 | 113,1 | 128,3 | 142,8 | 132,2 | 118,2 | 114,3 | 125,8 |
| 2003            | 160,9 | 124,8 | 132,0 | 136,4 | 126,8 | 146,4 | 130,9 | 147,2 | 129,2 | 118,5 | 116,2 | 123,0 |
| 2004            | 137,0 | 132,4 | 147,0 | 123,8 | 123,4 | 126,9 | 133,9 | 157,8 | 141,8 | 125,0 | 122,1 | 126,7 |
| 2005            | 134,6 | 130,8 | 134,6 | 151,7 | 151,0 | 146,7 | 144,0 | 150,1 | 143,3 | 128,4 | 129,9 | 132,2 |
| 2006            | 137,3 | 136,6 | 141,0 | 130,2 | 135,5 | 131,8 | 151,8 | 151,1 | 143,5 | 139,3 | 125,1 | 134,9 |
| 2007            | 153,5 | 143,9 | 143,8 | 134,2 | 132,7 | 135,1 | 144,3 | 127,6 | 99,3  | 91,7  | 126,2 | 128,8 |
| 2008            | 137,7 | 126,0 | 138,2 | 131,4 | 134,6 | 125,2 | 130,4 | 132,4 | 126,8 | 124,2 | 107,6 | 115,4 |
| 2009            | 115,0 | 106,0 | 112,1 | 115,1 | 115,4 | 107,4 | 124,2 | 126,7 | 136,9 | 128,4 | 122,3 | 128,4 |
| 2010            | 134,1 | 129,8 | 142,8 | 110,0 | 118,5 | 104,3 | 103,7 | 111,1 | 101,3 | 106,4 | 96,7  | 104,9 |
| 2011            | 119,8 | 104,1 | 114,6 | 101,3 | 113,1 | 109,3 | 111,4 | 123,0 | 116,9 | 105,0 | 109,7 | 123,5 |

| ESTACION CENTRO ADM LA UNION |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AÑO                          | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002                         | 114,2 | 109,3 | 136,6 | 123,2 | 134,7 | 125,0 | 121,9 | 126,4 | 120,6 | 119,2 | 117,1 | 123,6 |
| 2003                         | 122,8 | 115,4 | 147,1 | 134,0 | 129,1 | 110,2 | 124,3 | 127,8 | 123,8 | 116,3 | 108,4 | 120,0 |
| 2004                         | 130,6 | 133,8 | 142,2 | 123,6 | 126,0 | 130,0 | 121,5 | 138,2 | 107,3 | 115,3 | 135,5 | 146,0 |
| 2005                         | 131,9 | 125,1 | 131,8 | 127,2 | 132,7 | 127,6 | 147,2 | 147,2 | 139,6 | 117,4 | 118,7 | 120,1 |
| 2006                         | 124,5 | 125,0 | 140,3 | 104,3 | 105,3 | 128,5 | 123,8 | 154,1 | 135,9 | 127,3 | 114,4 | 125,5 |
| 2007                         | 144,2 | 132,9 | 122,5 | 118,7 | 114,6 | 114,1 | 125,3 | 114,6 | 121,3 | 113,1 | 112,7 | 112,2 |
| 2008                         | 119,8 | 105,5 | 129,1 | 114,4 | 117,2 | 111,0 | 130,1 | 137,5 | 119,2 | 131,0 | 118,8 | 134,7 |
| 2009                         | 131,0 | 131,2 | 142,3 | 138,6 | 114,1 | 108,6 | 140,3 | 139,5 | 149,1 | 123,2 | 142,3 | 123,1 |
| 2010                         | 110,0 | 133,3 | 136,2 | 109,5 | 117,2 | 99,3  | 109,3 | 111,0 | 118,8 | 93,6  | 80,6  | 117,5 |
| 2011                         | 135,6 | 118,3 | 122,8 | 112,0 | 124,6 | 130,3 | 133,8 | 150,5 | 137,7 | 121,9 | 123,2 | 130,1 |

Tablas G. Evapotranspiración de Referencia formula Thornthwaite.

| EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA ETO (mm/mes). LA FÓRMULA DE THORNTHWAITE |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ESTACION MIRAVALLE                                                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| AÑO                                                                       | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002                                                                      | 88,1  | 79,6  | 122,9 | 75,6  | 88,1  | 79,4  | 132,0 | 101,2 | 80,4  | 79,1  | 76,5  | 85,1  |
| 2003                                                                      | 96,4  | 87,0  | 90,2  | 84,4  | 87,2  | 74,2  | 84,3  | 84,3  | 84,4  | 92,2  | 76,9  | 83,3  |
| 2004                                                                      | 85,3  | 86,3  | 98,5  | 89,3  | 76,7  | 85,4  | 79,5  | 95,3  | 75,2  | 74,9  | 77,0  | 105,6 |
| 2005                                                                      | 83,1  | 79,3  | 87,8  | 85,0  | 85,9  | 81,3  | 88,8  | 90,7  | 85,9  | 73,2  | 71,7  | 73,2  |
| 2006                                                                      | 106,2 | 79,8  | 79,0  | 72,1  | 106,5 | 79,1  | 90,3  | 91,3  | 63,1  | 79,9  | 74,7  | 78,1  |
| 2007                                                                      | 86,7  | 86,5  | 79,1  | 77,4  | 118,9 | 77,4  | 87,6  | 71,0  | 78,3  | 75,4  | 74,7  | 104,2 |
| 2008                                                                      | 94,6  | 90,4  | 91,5  | 84,7  | 87,5  | 72,9  | 84,6  | 84,6  | 84,7  | 82,7  | 77,3  | 83,7  |
| 2009                                                                      | 82,4  | 86,9  | 87,2  | 80,7  | 119,2 | 78,0  | 85,3  | 71,6  | 78,9  | 76,0  | 75,3  | 81,5  |
| 2010                                                                      | 99,3  | 88,7  | 97,2  | 83,5  | 87,2  | 77,1  | 76,9  | 84,3  | 77,1  | 79,6  | 70,2  | 80,6  |
| 2011                                                                      | 85,3  | 72,1  | 79,0  | 76,4  | 83,5  | 82,5  | 84,4  | 85,3  | 83,4  | 72,1  | 74,7  | 79,9  |
| ESTACION CARTAGO                                                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| AÑO                                                                       | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002                                                                      | 121,9 | 106,3 | 133,9 | 131,4 | 115,3 | 103,4 | 116,7 | 120,4 | 119,1 | 139,2 | 126,7 | 159,1 |
| 2003                                                                      | 127,8 | 120,8 | 127,7 | 126,9 | 139,4 | 112,1 | 118,4 | 120,2 | 112,9 | 107,3 | 105,4 | 123,6 |
| 2004                                                                      | 105,2 | 120,6 | 143,7 | 123,0 | 117,3 | 113,9 | 113,3 | 128,1 | 110,4 | 110,8 | 109,2 | 112,8 |
| 2005                                                                      | 117,3 | 120,0 | 124,4 | 123,7 | 125,2 | 114,4 | 123,2 | 124,6 | 120,3 | 110,7 | 110,1 | 117,8 |
| 2006                                                                      | 121,9 | 118,6 | 125,2 | 114,3 | 120,0 | 116,6 | 130,4 | 131,0 | 125,9 | 121,7 | 110,1 | 117,2 |
| 2007                                                                      | 137,9 | 112,8 | 112,7 | 106,8 | 107,8 | 102,9 | 109,3 | 103,9 | 106,9 | 98,0  | 98,4  | 96,6  |
| 2008                                                                      | 104,3 | 100,7 | 107,3 | 103,3 | 106,3 | 100,8 | 105,6 | 104,4 | 103,2 | 105,3 | 99,7  | 106,7 |
| 2009                                                                      | 105,8 | 98,2  | 105,5 | 108,1 | 108,8 | 102,4 | 115,2 | 121,3 | 124,2 | 120,4 | 113,0 | 118,5 |
| 2010                                                                      | 123,4 | 120,0 | 136,1 | 106,6 | 116,4 | 99,6  | 99,4  | 103,4 | 95,3  | 99,5  | 90,8  | 96,9  |
| 2011                                                                      | 111,9 | 93,5  | 101,8 | 97,2  | 107,1 | 102,2 | 103,9 | 108,9 | 104,2 | 93,0  | 111,5 | 129,8 |
| ESTACION LA PAILA                                                         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| AÑO                                                                       | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
| 2002                                                                      | 113,4 | 113,3 | 118,5 | 103,0 | 123,8 | 103,5 | 118,9 | 126,7 | 115,3 | 114,6 | 106,5 | 117,6 |
| 2003                                                                      | 125,1 | 112,4 | 118,8 | 110,1 | 117,7 | 100,3 | 114,0 | 113,1 | 112,8 | 108,4 | 101,1 | 116,5 |
| 2004                                                                      | 109,6 | 115,0 | 129,1 | 107,4 | 111,1 | 107,6 | 108,7 | 117,7 | 104,2 | 104,6 | 104,8 | 108,1 |
| 2005                                                                      | 112,3 | 113,5 | 116,5 | 116,5 | 114,6 | 109,1 | 115,0 | 118,2 | 114,0 | 100,5 | 103,4 | 104,5 |
| 2006                                                                      | 107,9 | 105,1 | 114,3 | 105,5 | 109,9 | 105,5 | 116,1 | 115,7 | 109,4 | 111,6 | 101,7 | 106,6 |
| 2007                                                                      | 126,1 | 107,5 | 116,4 | 109,0 | 111,2 | 107,4 | 113,1 | 106,6 | 107,7 | 100,5 | 101,5 | 98,6  |

|      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2008 | 104,9 | 97,0  | 110,2 | 105,8 | 108,2 | 102,5 | 106,6 | 109,8 | 106,5 | 107,9 | 104,6 | 109,2 |
| 2009 | 107,7 | 98,8  | 109,1 | 110,1 | 111,1 | 104,5 | 115,8 | 121,0 | 122,9 | 119,3 | 113,0 | 118,4 |
| 2010 | 120,8 | 122,9 | 136,8 | 112,3 | 120,0 | 103,3 | 102,7 | 106,0 | 98,9  | 103,4 | 85,9  | 91,2  |
| 2011 | 102,5 | 88,6  | 97,7  | 92,2  | 101,9 | 96,8  | 95,9  | 102,5 | 98,6  | 88,1  | 99,4  | 116,1 |

---

#### ESTACION RIOFRIO

---

| AÑO  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2002 | 111,4 | 95,0  | 120,9 | 99,8  | 121,5 | 102,9 | 112,0 | 128,1 | 110,2 | 106,4 | 101,3 | 113,9 |
| 2003 | 116,9 | 106,9 | 113,6 | 104,8 | 113,7 | 94,8  | 108,5 | 108,1 | 105,7 | 101,2 | 105,9 | 108,6 |
| 2004 | 103,5 | 107,8 | 119,9 | 104,0 | 113,8 | 104,7 | 114,3 | 123,8 | 103,7 | 103,4 | 106,9 | 105,3 |
| 2005 | 109,6 | 108,6 | 121,0 | 115,8 | 113,1 | 106,8 | 114,6 | 115,9 | 111,8 | 99,5  | 100,1 | 116,7 |
| 2006 | 111,5 | 107,3 | 118,4 | 110,7 | 112,5 | 106,3 | 118,1 | 119,0 | 113,2 | 115,1 | 103,0 | 109,5 |
| 2007 | 126,3 | 109,8 | 116,6 | 114,0 | 115,1 | 111,0 | 119,2 | 109,2 | 110,1 | 99,5  | 105,4 | 102,4 |
| 2008 | 108,7 | 97,6  | 110,5 | 110,1 | 112,7 | 105,7 | 108,3 | 112,1 | 110,0 | 110,9 | 100,5 | 106,7 |
| 2009 | 109,5 | 95,0  | 104,9 | 107,4 | 109,2 | 104,5 | 119,1 | 118,5 | 122,7 | 118,2 | 112,3 | 117,1 |
| 2010 | 120,2 | 117,5 | 128,2 | 107,1 | 118,2 | 103,0 | 103,1 | 108,2 | 97,3  | 101,4 | 96,2  | 100,4 |
| 2011 | 108,4 | 93,6  | 101,6 | 99,4  | 107,1 | 102,7 | 102,8 | 108,8 | 104,3 | 91,7  | 107,7 | 117,5 |

---

#### ESTACION ZARZAL

---

| AÑO  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2002 | 119,6 | 94,8  | 130,6 | 97,4  | 110,5 | 107,6 | 118,0 | 118,7 | 112,3 | 108,6 | 106,5 | 116,6 |
| 2003 | 128,4 | 110,1 | 115,2 | 108,0 | 120,0 | 103,0 | 105,7 | 127,4 | 105,2 | 100,9 | 100,9 | 109,0 |
| 2004 | 116,2 | 104,1 | 132,9 | 107,0 | 107,9 | 103,4 | 106,6 | 127,7 | 118,7 | 102,7 | 100,7 | 102,0 |
| 2005 | 103,8 | 105,1 | 109,4 | 151,4 | 148,2 | 139,4 | 121,0 | 125,4 | 119,5 | 106,5 | 110,8 | 111,0 |
| 2006 | 115,1 | 111,8 | 121,4 | 113,3 | 119,2 | 111,7 | 123,2 | 123,2 | 116,0 | 117,7 | 105,9 | 113,1 |
| 2007 | 133,3 | 113,2 | 125,3 | 120,7 | 120,9 | 116,4 | 120,4 | 107,6 | 81,7  | 76,7  | 113,9 | 116,9 |
| 2008 | 118,7 | 111,3 | 123,2 | 123,6 | 126,3 | 118,1 | 123,0 | 123,5 | 117,7 | 112,0 | 92,1  | 96,0  |
| 2009 | 101,2 | 91,4  | 98,9  | 102,3 | 102,3 | 96,4  | 107,0 | 114,6 | 117,3 | 111,2 | 105,8 | 109,5 |
| 2010 | 110,3 | 110,4 | 125,0 | 102,5 | 111,1 | 96,1  | 95,2  | 99,4  | 91,3  | 95,2  | 87,6  | 92,4  |
| 2011 | 103,9 | 89,7  | 97,6  | 93,1  | 103,2 | 96,4  | 96,6  | 105,6 | 101,7 | 93,4  | 97,1  | 113,7 |

---

#### ESTACION CENTRO ADM LA UNION

---

| AÑO  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2002 | 105,8 | 99,2  | 112,5 | 101,2 | 109,8 | 101,2 | 97,0  | 100,7 | 99,9  | 100,7 | 97,5  | 104,5 |
| 2003 | 100,4 | 99,5  | 115,3 | 105,4 | 104,0 | 86,0  | 93,4  | 93,4  | 92,6  | 87,8  | 81,8  | 92,2  |
| 2004 | 96,8  | 100,7 | 108,9 | 90,4  | 93,4  | 96,0  | 90,0  | 104,0 | 78,8  | 84,5  | 100,6 | 111,4 |
| 2005 | 104,1 | 102,9 | 112,5 | 114,4 | 113,9 | 106,1 | 121,2 | 121,2 | 115,9 | 96,3  | 100,8 | 95,0  |
| 2006 | 104,3 | 105,6 | 119,8 | 100,9 | 108,4 | 104,9 | 116,9 | 119,8 | 110,3 | 105,7 | 97,1  | 103,0 |
| 2007 | 120,7 | 107,7 | 108,2 | 102,2 | 101,7 | 103,4 | 109,5 | 101,7 | 103,4 | 94,2  | 95,9  | 93,0  |
| 2008 | 107,1 | 95,4  | 109,8 | 98,7  | 103,2 | 96,2  | 105,8 | 105,8 | 108,8 | 104,5 | 95,0  | 104,5 |

|      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2009 | 99,9  | 104,0 | 113,7 | 114,2 | 106,6 | 95,4  | 105,2 | 121,0 | 124,6 | 113,7 | 105,9 | 110,8 |
| 2010 | 121,7 | 122,3 | 133,8 | 104,2 | 114,5 | 99,0  | 98,4  | 109,0 | 94,0  | 101,0 | 82,4  | 92,2  |
| 2011 | 105,4 | 91,6  | 95,2  | 92,1  | 102,7 | 108,5 | 108,0 | 145,5 | 108,5 | 93,9  | 98,2  | 105,4 |

---

## ANEXO C. RESULTADOS PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION FINALES

*Tablas H. Resultados Precipitación (mm).*

| BUENAVISTA |        |        |        |         |         |        |        |        |        |         |         |        |
|------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| P (%)      | ENE    | FEB    | MAR    | ABR     | MAY     | JUN    | JUL    | AGOS   | SEP    | OCT     | NOV     | DIC    |
| 75%        | 33,682 | 25,123 | 59,454 | 121,639 | 106,852 | 57,441 | 46,218 | 43,662 | 49,528 | 103,546 | 113,366 | 74,883 |
| 50%        | 50,600 | 56,800 | 79,400 | 161,000 | 148,500 | 86,400 | 84,000 | 73,300 | 82,100 | 140,700 | 147,200 | 91,800 |

| EL AGUACATE |        |         |         |         |         |        |        |        |         |         |         |         |
|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| P (%)       | ENE    | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN    | JUL    | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| 75%         | 32,451 | 36,797  | 103,513 | 149,761 | 124,974 | 63,900 | 59,328 | 57,202 | 72,946  | 174,054 | 150,050 | 111,775 |
| 50%         | 58,500 | 103,700 | 134,200 | 217,400 | 172,400 | 99,700 | 88,400 | 83,300 | 115,900 | 213,000 | 210,800 | 161,600 |

| EL OREGANO |        |        |        |         |         |        |        |        |        |         |         |        |
|------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| P (%)      | ENE    | FEB    | MAR    | ABR     | MAY     | JUN    | JUL    | AGOS   | SEP    | OCT     | NOV     | DIC    |
| 75%        | 26,178 | 30,821 | 60,752 | 122,133 | 99,233  | 64,909 | 36,343 | 41,486 | 43,223 | 109,040 | 103,251 | 54,140 |
| 50%        | 52,600 | 69,500 | 87,400 | 190,500 | 122,900 | 89,500 | 81,300 | 74,800 | 67,200 | 141,600 | 145,200 | 98,500 |

| EL OSO |        |        |         |         |         |         |        |        |        |         |         |        |
|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| P (%)  | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL    | AGOS   | SEP    | OCT     | NOV     | DIC    |
| 75%    | 26,646 | 38,872 | 75,607  | 148,253 | 77,925  | 63,644  | 51,362 | 37,144 | 38,940 | 119,279 | 104,100 | 75,766 |
| 50%    | 46,570 | 53,100 | 103,100 | 200,800 | 118,600 | 104,100 | 93,700 | 67,000 | 82,200 | 147,700 | 144,600 | 95,100 |

| EL PORVENIR |        |        |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |
|-------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| P (%)       | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| 75%         | 16,960 | 29,767 | 61,175  | 128,783 | 89,441  | 51,454  | 45,715  | 44,378 | 44,873  | 101,598 | 101,243 | 66,388  |
| 50%         | 35,000 | 52,300 | 84,100  | 170,800 | 118,060 | 83,350  | 81,000  | 77,200 | 84,000  | 132,800 | 135,400 | 83,200  |
| EL VESUBIO  |        |        |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |
| P (%)       | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| 75%         | 14,412 | 21,327 | 35,576  | 42,939  | 39,019  | 38,285  | 39,123  | 18,384 | 21,422  | 32,590  | 37,189  | 30,778  |
| 50%         | 31,600 | 30,200 | 51,500  | 63,300  | 57,000  | 56,000  | 57,100  | 36,500 | 35,300  | 43,000  | 48,300  | 42,700  |
| EL LUCERO   |        |        |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |
| P (%)       | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| 75%         | 20,080 | 15,451 | 61,822  | 150,525 | 106,963 | 60,340  | 50,984  | 44,753 | 68,002  | 135,999 | 123,762 | 74,950  |
| 50%         | 47,100 | 46,500 | 85,900  | 216,100 | 163,500 | 97,300  | 110,400 | 83,700 | 106,200 | 187,600 | 190,200 | 112,000 |
| LA DESPENSA |        |        |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |
| P (%)       | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| 75%         | 19,215 | 18,178 | 53,568  | 84,325  | 85,832  | 51,316  | 23,773  | 19,859 | 47,456  | 103,886 | 114,300 | 55,966  |
| 50%         | 31,570 | 51,000 | 83,700  | 157,500 | 140,700 | 79,600  | 65,300  | 54,300 | 72,900  | 164,100 | 161,600 | 87,900  |
| LA ELVIRA   |        |        |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |
| P (%)       | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| 75%         | 24,307 | 33,699 | 93,055  | 129,152 | 113,153 | 73,526  | 74,319  | 41,808 | 58,081  | 114,981 | 104,669 | 73,805  |
| 50%         | 50,000 | 67,000 | 128,500 | 177,800 | 155,400 | 109,700 | 104,200 | 88,400 | 87,600  | 147,000 | 135,300 | 98,500  |
| LA QUIEBRA  |        |        |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |
| P (%)       | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| 75%         | 27,457 | 46,190 | 81,872  | 131,214 | 95,321  | 63,783  | 54,930  | 48,809 | 50,032  | 150,781 | 110,606 | 83,815  |

|            |        |        |         |         |         |        |        |        |         |         |         |         |
|------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| <b>50%</b> | 57,900 | 72,500 | 129,600 | 183,300 | 139,200 | 98,900 | 97,600 | 89,300 | 101,000 | 188,900 | 163,900 | 107,700 |
|------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|

#### LAS PEÑAS

| P (%)      | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS    | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
|------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>75%</b> | 43,796 | 53,963 | 107,390 | 178,161 | 133,991 | 75,338  | 68,457  | 75,557  | 70,764  | 187,365 | 143,558 | 107,976 |
| <b>50%</b> | 84,600 | 86,800 | 147,700 | 212,600 | 169,000 | 117,600 | 116,500 | 109,600 | 118,500 | 219,900 | 208,500 | 144,000 |

#### MIRAVALLS

| P (%)      | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS   | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
|------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| <b>75%</b> | 45,244 | 44,439 | 129,736 | 173,893 | 154,429 | 72,113  | 73,194  | 56,048 | 90,080  | 143,390 | 169,130 | 109,546 |
| <b>50%</b> | 67,300 | 86,200 | 159,600 | 238,600 | 182,500 | 125,000 | 113,600 | 97,400 | 127,000 | 190,100 | 219,900 | 153,200 |

#### MONTECRISTO

| P (%)      | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN    | JUL    | AGOS   | SEP    | OCT     | NOV     | DIC     |
|------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| <b>75%</b> | 26,513 | 41,887 | 77,621  | 141,026 | 105,316 | 53,016 | 41,413 | 37,808 | 47,629 | 159,989 | 109,067 | 86,793  |
| <b>50%</b> | 51,300 | 76,900 | 101,400 | 189,100 | 137,800 | 88,400 | 72,200 | 65,700 | 84,300 | 182,000 | 166,000 | 132,100 |

#### PATIOBONITO

| P (%)      | ENE    | FEB    | MAR     | ABR     | MAY     | JUN    | JUL    | AGOS   | SEP    | OCT     | NOV     | DIC     |
|------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| <b>75%</b> | 28,080 | 53,501 | 66,496  | 158,095 | 101,290 | 62,747 | 56,349 | 46,222 | 46,060 | 131,722 | 104,146 | 100,162 |
| <b>50%</b> | 49,400 | 72,900 | 111,000 | 201,300 | 140,300 | 91,700 | 99,700 | 74,300 | 78,900 | 161,000 | 169,000 | 119,100 |

#### SABANAZO

| P (%)      | ENE    | FEB    | MAR    | ABR     | MAY     | JUN    | JUL    | AGOS   | SEP    | OCT     | NOV     | DIC    |
|------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| <b>75%</b> | 37,383 | 36,807 | 60,730 | 142,703 | 102,961 | 52,019 | 42,442 | 42,326 | 53,551 | 139,995 | 124,172 | 71,137 |
| <b>50%</b> | 57,696 | 63,400 | 92,500 | 185,300 | 135,700 | 81,400 | 81,320 | 73,000 | 84,700 | 172,826 | 163,700 | 93,150 |



| <b>ZARAGOZA</b>                       |            |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |            |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>P (%)</b>                          | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| <b>75%</b>                            | 18,619     | 58,447     | 80,406     | 157,221    | 139,201    | 78,874     | 61,607     | 61,481      | 85,356     | 128,224    | 106,775    | 95,309     |
| <b>50%</b>                            | 44,600     | 88,800     | 118,930    | 195,900    | 191,800    | 122,200    | 93,800     | 84,800      | 124,400    | 156,300    | 157,500    | 148,000    |
| <b>ARBOLEDA</b>                       |            |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |            |
| <b>P (%)</b>                          | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| <b>75%</b>                            | 22,944     | 20,092     | 43,397     | 111,001    | 93,133     | 41,242     | 43,088     | 42,971      | 54,435     | 87,103     | 91,861     | 58,498     |
| <b>50%</b>                            | 41,400     | 51,700     | 104,900    | 158,600    | 125,300    | 80,600     | 81,300     | 68,800      | 77,070     | 123,892    | 135,000    | 90,300     |
| <b>CANDELARIA</b>                     |            |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |            |
| <b>P (%)</b>                          | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| <b>75%</b>                            | 23,337     | 31,374     | 76,638     | 109,261    | 95,493     | 50,210     | 59,772     | 45,410      | 54,890     | 91,448     | 83,311     | 55,863     |
| <b>50%</b>                            | 39,720     | 51,588     | 93,043     | 161,430    | 129,389    | 75,150     | 83,140     | 66,344      | 77,375     | 122,371    | 105,637    | 78,199     |
| <b>CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNION</b> |            |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |            |
| <b>P (%)</b>                          | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| <b>75%</b>                            | 31,775     | 30,764     | 67,577     | 109,337    | 90,054     | 69,732     | 56,104     | 56,647      | 74,127     | 111,620    | 93,233     | 56,077     |
| <b>50%</b>                            | 55,464     | 56,644     | 92,390     | 153,140    | 119,620    | 98,610     | 90,790     | 82,930      | 101,589    | 140,540    | 126,290    | 74,060     |
| <b>CEROS</b>                          |            |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |            |
| <b>P (%)</b>                          | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| <b>75%</b>                            | 15,793     | 22,033     | 62,619     | 126,660    | 118,818    | 55,900     | 63,753     | 38,166      | 87,676     | 87,676     | 82,325     | 39,749     |
| <b>50%</b>                            | 37,200     | 58,700     | 91,300     | 182,500    | 136,100    | 91,200     | 104,800    | 74,300      | 108,486    | 108,486    | 117,700    | 61,300     |
| <b>ISUGU</b>                          |            |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |            |
| <b>P (%)</b>                          | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| <b>75%</b>                            | 21,302     | 24,178     | 56,712     | 101,023    | 101,481    | 60,817     | 73,590     | 59,424      | 63,247     | 107,006    | 75,988     | 57,816     |

|            |        |        |        |         |         |        |         |        |        |         |         |        |
|------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|
| <b>50%</b> | 32,310 | 48,700 | 74,670 | 165,790 | 139,410 | 87,550 | 105,260 | 85,396 | 87,916 | 134,580 | 114,580 | 94,064 |
|------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|

---

**SAN FRANCISCO**

---

| <b>P (%)</b> | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>75%</b>   | 27,763     | 32,580     | 92,835     | 141,715    | 96,499     | 64,713     | 89,641     | 49,063      | 98,067     | 102,249    | 109,927    | 68,000     |
| <b>50%</b>   | 96,600     | 54,600     | 127,660    | 194,900    | 140,800    | 103,000    | 124,600    | 85,700      | 123,689    | 145,946    | 148,000    | 118,100    |

---



---

**CARTAGO**

---

| <b>P (%)</b> | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>75%</b>   | 30,838     | 32,440     | 120,383    | 139,651    | 111,717    | 71,716     | 74,249     | 55,526      | 93,842     | 93,860     | 122,021    | 90,968     |
| <b>50%</b>   | 56,920     | 53,510     | 150,300    | 196,270    | 148,250    | 106,530    | 117,360    | 85,600      | 113,020    | 127,740    | 154,320    | 114,180    |

---



---

**LA PAILA**

---

| <b>P (%)</b> | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>75%</b>   | 21,550     | 35,016     | 90,593     | 130,169    | 126,713    | 75,475     | 71,136     | 51,606      | 45,825     | 109,749    | 120,788    | 73,211     |
| <b>50%</b>   | 39,960     | 58,360     | 124,020    | 180,530    | 163,350    | 112,080    | 96,600     | 74,620      | 73,850     | 150,470    | 162,820    | 114,600    |

---



---

**ZARZAL**

---

| <b>P (%)</b> | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGOS</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>75%</b>   | 36,799     | 27,214     | 74,122     | 89,985     | 109,901    | 64,619     | 61,714     | 40,073      | 43,948     | 98,782     | 89,391     | 63,276     |
| <b>50%</b>   | 59,170     | 49,290     | 95,710     | 153,110    | 134,770    | 96,970     | 98,130     | 71,950      | 76,760     | 123,630    | 117,060    | 86,470     |

---

Tablas I. Resultados Evapotranspiración (mm).

| CARTAGO |     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MODELO  | MES | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS    | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| GARCIA  | 50% | 131,731 | 126,749 | 132,758 | 119,040 | 120,737 | 115,311 | 127,817 | 132,688 | 125,954 | 120,464 | 114,220 | 125,190 |
| THRONT  | 50% | 117,722 | 111,147 | 121,837 | 114,134 | 116,357 | 106,819 | 113,551 | 116,622 | 112,261 | 110,598 | 107,486 | 117,899 |

| LA PAILA |     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MODELO   | MES | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS    | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| GARCIA   | 50% | 133,153 | 126,984 | 134,465 | 120,577 | 126,616 | 121,409 | 132,410 | 135,846 | 129,996 | 122,862 | 117,527 | 125,296 |
| THRONT   | 50% | 113,030 | 107,429 | 116,740 | 107,184 | 112,939 | 104,060 | 110,694 | 113,725 | 109,025 | 105,893 | 102,207 | 108,686 |

| RIOFRIO |     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MODELO  | MES | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS    | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| GARCIA  | 50% | 132,967 | 123,828 | 132,988 | 120,796 | 126,478 | 120,247 | 131,931 | 137,213 | 131,211 | 122,522 | 118,402 | 124,816 |
| THRONT  | 50% | 112,602 | 103,901 | 115,570 | 107,314 | 113,680 | 104,230 | 112,017 | 115,169 | 108,914 | 104,722 | 103,949 | 109,811 |

| ZARZAL |     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MODELO | MES | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS    | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| GARCIA | 50% | 135,979 | 125,343 | 133,509 | 124,093 | 126,215 | 124,616 | 130,290 | 136,983 | 127,122 | 118,509 | 116,997 | 124,354 |
| THRONT | 50% | 115,072 | 104,204 | 117,948 | 111,924 | 116,948 | 108,851 | 111,671 | 117,300 | 108,140 | 102,508 | 102,136 | 108,018 |

| MIRAVALLE |     |         |         |         |        |         |        |         |         |        |        |        |        |
|-----------|-----|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| MODELO    | MES | ENE     | FEB     | MAR     | ABR    | MAY     | JUN    | JUL     | AGOS    | SEP    | OCT    | NOV    | DIC    |
| GARCIA    | 50% | 106,232 | 102,393 | 105,982 | 91,498 | 100,138 | 88,827 | 104,628 | 101,785 | 91,972 | 88,746 | 85,146 | 93,147 |
| THRONT    | 50% | 90,739  | 83,674  | 91,236  | 80,903 | 94,086  | 78,728 | 89,377  | 85,971  | 79,132 | 78,526 | 74,906 | 85,505 |

---



---

| CENTRO ADM LA UNION |     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MODELO              | MES | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     | JUL     | AGOS    | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
| GARCIA              | 50% | 126,466 | 122,974 | 135,076 | 120,558 | 121,551 | 118,462 | 127,742 | 134,668 | 127,338 | 117,817 | 117,171 | 125,275 |
| THRONT              | 50% | 106,614 | 102,880 | 112,963 | 102,358 | 105,817 | 99,663  | 104,547 | 112,207 | 103,677 | 98,228  | 95,512  | 101,204 |

---